植物線蟲病害防治
研討會專集

台灣省農業試驗所特刊第25號
中華民國七十七年四月十二日
於台灣省農業試驗所舉行

行政院農業委員會
台灣省政府農林廳 補助

台灣省農業試驗所 編印

中華民國七十八年二月

植物線蟲病害防治研討會專集

中華民國七十七年四月十二日於台灣省農業試驗所舉行

杜　金　池
程　永　雄
主編

行政院農業委員會
台灣省政府農林廳
補助

台灣省農業試驗所　編印

中華民國七十八年二月廿八日

PROCEEDINGS OF
A SYMPOSIUM OF PLANT NEMATODE
DISEASES CONTROLS

Held at

Taiwan Agricultural Research Institute
Taichung, Taiwan
12 April, 1988

Edited by

Chin-Chyu Tu and Yung-Hsiung Cheng

Financially Supported by
Council of Agriculture, Executive Yuan
Department of Agriculture and Forestry,
Taiwan Provincial Government

Published by
Taiwan Agricultural Research Institute

Feb. 1989

植物線蟲病害防治研討會留念 77.4.12.

目　　錄

序 ………………………………………………………… 孫明賢 ………………… I

開幕典禮

致開幕詞 ……………………………………………… 蘇匡基 ………………… III
長官致詞 ……………………………………………… 陳秋男 ………………… V
來賓致詞 ……………………………………………… 羅宗爵、陳脈紀 ……… VII
致歡迎詞 ……………………………………………… 杜金池 ………………… XI

專題報告

1.台灣的根瘤線蟲病害 ………………………………… 王國强 ………………… 1
2.台灣松材線蟲萎凋病之發生及其防治 ……………… 曾顯雄、顏志恆 ……… 15
3.柑桔線蟲問題 ………………………………………… 林奕耀 ………………… 33
4.線蟲之生物防治趨勢 ………………………………… 曾顯雄 ………………… 43
5.線蟲與其他病原之複合感染 ………………………… 程永雄 ………………… 61
6.線蟲與作物根系保全 ………………………………… 蔡東纂 ………………… 71

綜合討論　91

海報展示　95

研討會參加人員名單 ……………………………………… 99

籌　辦　人　員 …………………………………………… 100

序

線蟲對農作物生產之威脅，近年來成爲已開發國家所重視之一問題，對各種作物線蟲病害之防治更是不遺餘力在推展。過去本省線蟲研究曾有一段輝煌事蹟，在民國59—60年，一羣線蟲研究人員結合在一起，從事本省重要經濟作物寄生線蟲調查工作，並爲要撲滅經由火鶴花引進所帶來穿孔線蟲之蔓延，由本廳採取行政命令進行緊急處理，燒燬花鶴花之事件，更引起當時有關人士對作物線蟲病害之重視。但近十年來，由於時過境遷，本省農業生產也步入高經濟作物之集約栽培，稻田轉作，耕作制度改變及專業區之設立，致使作物寄生性線蟲因多年生之果樹及短期作之長期連作得綿延繁殖造成連作障害，以及新的植物線蟲之輸入檢疫等問題，均有待解決，本廳有鑑於實際需要，在台灣省農業試驗所策劃下，召集有關試驗單位及專家約百人，於民國七十七年四月十二日假該所舉辦本省首次「植物線蟲病害防治研討會」。這次研討會大家熱烈討論本省重要植物線蟲諸如根瘤線蟲、根腐線蟲、柑桔線蟲、葉芽線蟲、松材線蟲，線蟲與其他病原之複合感染以及防治對策等問題，具有豐碩的成果及啓發性。該所將本次研討會所發表之論文及研討結果彙編成專刊，提供各界試驗研究人員及生產者參考，對今後推展植物線蟲病害防治工作具有正面的意義，因而樂爲序之。

台灣省政府農林廳
廳長 孫 明 賢 謹識
中華民國七十八年二月

蘇副廳長開幕致詞

蘇 匡 基

台灣省農林廳副廳長

各位貴賓、各位學者專家、各位女士、各位先生：

非常的高興，今天有這個機會參加這次植物線蟲病害防治研討會，在此謹代表廳長致最大的歡迎與萬分的謝意。

各位貴賓學者專家及工作同仁們能在百忙中抽空出席這次研討會，大家共聚一堂，關心並討論一項被忽視而且確實存在又重要的作物線蟲問題，實在令人敬佩。過去線蟲研究曾有一段輝煌的事蹟，於民國59－60年，由於當時曾影響到本省根菜類農產品外銷紅蘿蔔根瘤線蟲嚴重發生，引起各界重視，致使本省從事線蟲研究人員結合在一起，進行一次本省重要經濟作物寄生性線蟲調查工作，隨之本廳採取行政命令執行“火鶴花燒毀”的事件，以根絕穿孔線蟲之蔓延，強烈刺激有關人士對作物線蟲病害問題之重視。但近十多年來，由於人事變遷，使本省從事線蟲研究者，已不復往日之盛。但線蟲病害並沒有就此消聲匿跡，反而因稻田轉作及耕作制度的改變，而有日漸嚴重的趨勢，如作物連作障礙的問題，線蟲與其他病原複合感染之問題，殺線蟲劑施用後之農藥殘留問題，及新的植物病原線蟲之輸入檢疫等問題，均有待解決。因此本廳有鑑於實際之需要，由農試所策劃，召開今天的研討會，邀請學者專家主講有關國內外線蟲研究動態並集合有關學科，包括植物病理、農藝、園藝、及土壤肥料等專家，共同研討本省作物線蟲病害，希望各位學者專家能不吝提供寶貴的意見與經驗，供爲擬定未來本省線蟲之研究方向及防治策略之參考，以解決本省線蟲問題，是爲本次研討會之主要目的。

最後祝大會圓滿成功，敬祝各位健康快樂！

長 官 致 詞

陳 秋 男
行政院農業委員會植物保護科科長

杜所長、各位貴賓、各位女士、各位先生：

今天本人很高興代表古處長、在此非常重要的學術討會上講幾句話，古處長因另外有重要會議，所以要我向各位表示歉意，他一直希望能夠參加研討會，有時間跟各位談一談、見見面，但是因爲沒辦法分身，所以由我來此。在線蟲研究過去歷史裏頭，我曾經在出來之前把有關過去整理的資料稍加作統計，發覺所有重要的文獻及發表最多的文章，是在1966－1975年的十個年頭裏，這十年當中可以說有相當輝煌的成就。但是以後由於人員方面變動，所以各方面的研究有一段時間稍顯停頓，因爲培育人才還是相當有限，所以今天的研討會顯然在檢討過去一些成果，現狀及將來我們要再繼續發展的重點。我想在一個學術發展裏頭，非常主要的是在研究落實生根之外，我們培育人才亦是非常重要的問題，因爲從這個研討會的人材來看，這方面的人力和實際問題的重要性不能相襯，故在研討會未開始前，我與古處長談過，人才培育在將來研究發展裏頭僅次於計劃補助。

關於線蟲問題我想跟其他植物病害問題有同樣性質，有一些線蟲問題是經由至少幾個情況下，而於生態或經濟上的考慮而變成一個重要的問題，第一它可能是外來的，這個外來的問題就是暴露在植物檢疫方面的加强及把關的一個問題，往往由一個外來不重要的線蟲或在國外不重要的線蟲，到這個地方也可能成爲重要的線蟲，外來問題很多病害，包括線蟲問題同樣成爲重要病害的一個特性。第二食物不斷的供應及不虞匱乏，也就是說從生態上來看在食物的充裕性，在時間上連續性有助原來不重要問題成爲重要問題。譬如在連作或面積的擴大二種因素而導致很嚴重的線蟲問題。另外對一個作物本身的經濟考慮，而使原來不重要的作物，現在我們認爲它爲相當重要的作物，因認爲它價值重要，種植面積或者會普遍性的提高，由於這樣子、而使原來不重視的線蟲問題，現在變成重要問題。基於這幾個問題，我相信國內一定還有許多線蟲問題還未被鑑定出來，並不止目前已知的這幾十種而已，針對這個問題剛剛主席也提到，目前問題重點，包括連作及稻田轉作以後，在園藝作物的增加、檢疫及防疫應該再加强，現在設施園藝方面，在普及情況下有關土壤消毒處理問題恐怕也是線蟲研究常被忽略的一項，另外在當前整個植物保護因應於生產者與消費者雙方互動關係，消費者對農藥使用的顧忌，所以在農委會也非常强調我們如何逐漸以非化學的防治方法爲主，並增加一些非化學性的防治方法。譬如加重生物防治法、耕作防治法、法規防治法、物理防治法這些的份量比例，而來慢慢減少對農藥使用的依賴，這也正是我們現在的一貫目標，也是因應整個消費的需求，亦是目前時代的趨勢，所以我想在今天研討會裏頭，特別提到如何採取一個綜

合防治的策略，且希望在今天研討會所討論的成果作爲今後我們施政的參考。無論在將來研究方向的擬定、推廣工作的改進、人才的培育、甚至儀器設備的加强種種，期望在沈默已久的研究領域，能夠藉此研討會，也能蒸蒸日上，使未發覺的線蟲能夠被發覺出來研究解決。農試所最近所舉辦的研討會，很具有一種前瞻性，不但在檢討過去，也在策劃將來，我們站在農委會的立場非常感謝這一系列有關研討會的活動，也使得國內植物保護方面，不論在研究或推廣都有很好的意見及知識的交流與溝通，在此代表古處長簡單說幾句話。

謝謝各位！

來 賓 致 詞

羅 宗 爵
亞洲農業技術服務中心主任

主席、杜所長、各位貴賓：

我這次是第二次來參加貴所舉辦的研討會，我非常佩服杜所長至接任以來，一連串舉辦這樣的研討會，我相信這是個很創新的工作，成果一定非常豐碩。線蟲這個問題，我感覺到好像是一個很老的故事，因爲在十幾年前就發生過，在台灣有這樣一個情形，因爲當我們有很多地下根作物要銷日本時，日本却拒絕，所持的理由就是作物的根有穿孔線蟲，當時我們所做線蟲研究專家有九位，我記得九位當中有林教授，包括杜所長也做了這方面研究。查了很多文獻，並沒有記載我們有穿孔線蟲，只是在一個偶然的文獻中說在甘蔗裏可疑有穿孔線蟲，日本就據這一點拒絕了我們所有根菜類的蔬菜進口，當時個人是在農委會工作，我就找這幾位專家，這九位線蟲專家當中有一位是當時服務於中央研究院的黃昭雄博士，黃炤雄博士在國外很出名，因爲有一次在農業委員會有一個很高級的官員到南美去看他們的香蕉，南美的香蕉有三個很大的病蟲害，一個是 Panama disease 也就是現在的黃葉病。第二就是穿孔線蟲，特別是這兩個病害加在一起其香蕉的損失也就愈大，一個是破壞根，一個是感染葉片而使其枯萎，我們這位官員發現蕉園病害後，於是就問他們對穿孔線蟲有那位專家，我可以請到台灣來研究，他們說台灣就有一位黃博士，這個官員回來就問我有沒有一個叫黃昭雄，我說有啊！就在中央研究院。所以黃博士在國外相當出名，當然並不是說國外的專家不出名，而是我們國內的專家只是默默耕耘，可見我們的人才沒有發揮一種宣傳工作，另外我們過去所碰到的就是園藝主管的觀念中，病蟲害好像不是一個重要的問題，當然與今天比起來差得很多。今天我們感覺到有關園藝、農藝這些作物主管都非常重視病蟲害，過去提起病蟲的問題，他們都認爲是肥料的問題及栽培方法的問題，並沒有說是病蟲害引起的問題，所以說今天來參加的各位都是同行人，我們如何將這些檢討的結果讓園藝、農藝的主管了解病蟲害的重要性，特別是今天所要研討的是一個線蟲病害，它的重要性如何。特別是剛剛各位所提起當年我們爲了應付日本問題，而做了一個二年計劃，當時九位專家，每個月檢討一次，採取土壤樣本達到二萬個樣本，且由我們的科學家把它證明沒有穿孔線蟲，因此日本也就開放它的禁令，可是在那個時候發現了火鶴花裏面從 Hawaii 進來的有穿孔線蟲，爲了這件事，農林廳、農復會配合足足花了二、三個月的時間，將全省的火鶴花燒毀，但並不是絕跡，而是改用組織培養，必免碰到根的問題，不過那時我們認爲做的相當徹底。今天的研討會當中一定可以知道有更好的工作，因爲現在是一代比一代强，我已活了這麼大的歲數，不過老也有老的好處，因爲可以看到過去、現在、在比較之下，更可知今日進步到如何，我們感謝杜所長他安排像這樣好的研討會，讓我們從頭到現

在做一個顯著的比較，我現在因爲老了的關係，我願意做一個聽衆在這裏聆聽各位寶貴的意見。

敬祝大會圓滿成功

來　賓　致　詞

陳　脈　記
中華植物保護學會理事長
國立中興大學植物病理系系主任

蘇副廳長、杜所長、各位來賓

今天很高興能夠被邀請到這個場合跟各位講幾句話，首先恭禧今天植物線蟲病害防治研討會順利召開，也對籌備研討會的各位先生的佈置及準備致最大謝意。

回想過去差不多30年前，也就是民國48年的時候，我頭一次在台灣中部地區發現到水稻白尖病也就是線蟲所引起的病害，當時曾做線蟲人工培養、線蟲生態、水稻品種品系對線蟲的抵抗强弱情形作一些研究，後來發現線蟲病害愈來愈多。例如當時中興大學裏看到所種植的蕃茄發生萎凋，並發現它們的根部被線蟲危害嚴重。現在線蟲在植物病害中亦是受重視之一環，所以有關線蟲方面的工作應再加努力。雖然目前有關線蟲方面的專家有一些，但我本人還是認為不夠，並應該再加幾位參與工作的人員，而作這方面的高深研究，另一方面在基礎上的工作也應加强認識線蟲及線蟲危害的情形。今天我很高興能夠參於這個有關線蟲防治的研討會，聆聽各位專家報告這方面的研究。

最後敬祝各位身體健康、事業順利！

謝謝各位

杜所長致歡迎詞

各位長官、各位來賓、各位女士、各位先生、大家早！

本人謹代表農試所全體同仁歡迎各位嘉賓蒞臨指導，參加農林廳假本所學辦『植物線蟲病害防治研討會』，共同研討本省作物遭受線蟲病害的現況及未來防治對策，表示萬分的謝意。

我們知道線蟲是肉眼不易看到的一種微生物，與眞菌、細菌、病毒構成作物病害之四大病原，會嚴重爲害作物，引起作物的病害，如根瘤線蟲、穿孔線蟲、根腐線蟲、葉芽線蟲等。線蟲也常與其他病原引起複合感染而加劇病害之發生，影響作物產量與品質至鉅。有關本省線蟲之研究，剛才主席已提到，早在民國59－60年就開始，而〝火鶴花燒毀〝的事蹟，更是爲執行根絕穿孔線蟲在本省擴大傳播蔓延的一種措施。當時由植物保護界前輩羅博士宗爵（早年在農復會服務，現任亞洲農業技術服務中心主任）推動下，一羣從事植物線蟲研究人員如黃炤雄博士（原在中央研究院，現在美國），蔡雲鵬博士（原在商品檢驗局，現在香蕉研究所），本人及各區農改場工作同仁同心協力，採取分工合作的方式調查本省作物寄生性線蟲，發揮一次團隊合作精神。隨之，由於人事的變遷，線蟲的研究及防治工作再也沒當時的熱絡。但是本省作物線蟲病害並未消聲匿跡，反而更顯得嚴重。尤其是稻田轉作推行後，水稻田轉作雜糧或園藝作物，土壤長年處於乾旱狀況及連作的障礙，更有利於線蟲之繁殖與蔓延，如草莓的葉芽線蟲、柑桔線蟲及根瘤線蟲等。於是年前本所乃與有關學者專家取得連繫，認爲極需召開線蟲問題研討會，集合有關專家學者的智慧，共同研商本省現存的作物線蟲問題，並且研擬未來的研究方向及因應對策。這個構想獲得農林廳有關同仁熱烈支持，臨時籌措撥付經費辦理本次研討會。在此情況下，相信各位先進一定會珍惜今天的會議，不吝貢獻寶貴意見才是。

最後，謹祝各位嘉賓身體健康，精神愉快，大會成功，謝謝！

專 題 報 告

np. of Pl. Nem. Dis. Contr.:P 1～P 14(1989)

台灣的根瘤線蟲病害

王 國 强[1]

摘　　要　根瘤線蟲（Root-knot nematodes）是人類記載最早的植物寄生線蟲之一。受害植物所產生的病徵最易辨別。已知的蟲種高達70多種。它的植物寄主廣泛，可造成農作物品質和產量的重大經濟損失。所以是植物寄生線蟲中最重要的病原線蟲之一。

因爲根瘤線蟲對農作物的生產影響很大，美國北卡羅來納州立大學（North Carolina State University）植病系的線蟲學專家們在 Dr.Sasser 領導下，得美國國際開發總署的經費支持，於1975年成立“國際根瘤線蟲計劃（International Meloidogyne Project）”。邀請全球七十個國家的一百多位線蟲專家，經十多年的集體合作研究。分別從生物學、生態學、分類學、細胞遺傳學、生物化學等方面作了詳盡的探討。而且還繼續合作進行中。這是植物病害國際合作研究史上的空前壯舉，成果非凡。

台灣位處亞熱帶，具有沙壤土土質的農地分佈頗廣，是繁殖根瘤線蟲的最佳環境。故根瘤線蟲病害是台灣最重要的農作物線蟲病害。自1977年在本省發現北方根瘤線蟲蟲種（*Meloidogyne hapla* Chitwood 1949）新記錄後，由於未能及時撲滅，傳染頗廣，以致使本省故有之數種根瘤線蟲蟲種，如虎添翼。讓更多原列爲抗病的作物受到威脅。故使本省根瘤線蟲病害問題更形複雜且嚴重。

1. 國立台灣大學植物病蟲害學系教授

有人說：“什麼地方有了什麼專家，就有了什麼問題”。乍看之下，好像那些專家在專門製造問題似的。其實不然，因爲他們具備了專門知識，才知道如何發掘那些久未被發現的問題。

早在紀元前2700年，中國人即在醫書中詳細記載了蛔蟲（ *Ascaris lumbricoides* ）爲害人體的診斷與治療方法，是世界上最早的線蟲學文獻[26]值得國人驕傲。然而反觀我國的農業線蟲學歷史，就乏善可陳了。

美國康奈爾大學（ Cornell University ）的名線蟲學教授 Dr. W.F. Mai 就常語重心長地對農民說：“由於絕大多數的植物寄生線蟲是爲害埋在地下，不易爲人覺察的植物根，故根部的受害情形常被忽略了。反過來，設若植物的根是露在地面以上，線蟲侵害根羣的恐怖情形，一目了然，則人們定然知道線蟲是何等的重要，願花許多人力和經費去研究線蟲問題，探討防治對策，保護農作物的根羣”[27]。

根瘤線蟲病害是1855年，英人 Berkely 氏在溫室中的黃瓜根部發現，爲人類文字記載最早的植物線蟲病害之一[30]。其病原線蟲是根瘤線蟲（ *Melodogyne* Goeldi, 1892 ）。被其侵害的根羣會形成腫大的根瘤（ Galls ），影響根部吸收養分的能力。嚴重時，能引起植物呈現營養不良，產量減少的現象。一百多年來，科學家由最先的一個蟲種，陸陸續續新發現了許多蟲種。到1987年12月爲止，蟲種數已高達71種[24,25,28]。種類雖多，但據設在美國北卡羅來納州立大學（ North Carolina State University ）的國際根瘤線蟲研究計劃（ International *Meloidogyne* Project ）總部的統計，全球農地的根瘤線蟲種中有95％是屬於南方根瘤線蟲（*Meloidogyne incognita* （ Kofoid and White, 1919 ）Chitwood 1949 ），爪哇根瘤線蟲（ *M. javanica* （ Treub, 1855 ）Chitwood 1949 ），花生根瘤線蟲（ *M. arenaria* （ Neal 1889 ）Chitwood 1949 ）及北方根瘤線蟲（ *M. hapla* Chit ood 1949 ）等四大蟲種[29]。根瘤線蟲的植物寄主範圍廣達二千多種，分佈遍及全球。與其他寄主範圍不太廣的植物病害相比，根瘤線蟲病爲害糧農作物，園藝花卉，及森林所形成的總損害算是 常大的植物病害之一。

美國國際開發總署（The United States Agency for International Development ）爲了協助開發中的國家控制或減少根瘤線蟲病的爲害，以達糧農增產的目的，自1975年起曾支助北卡羅來納州立大學的線蟲學專家們，在 Dr. Sasser 主持下，成立了前述之國際根瘤線蟲研究計劃總部。集全世界70個國家的一百多位線蟲學專家們，經過十年的通力合作，共收集了850個不同的根瘤線蟲族羣（ Population ），包括了15個蟲種。經多年的研究探討，樹立了一套正確可靠的蟲種鑑定技術，有助於以輪作法防治爲主的開發中國家，準確的鑑定其特有的蟲種，發揮輪作效果，以達增產目的。

調查資料顯示[29]南方根瘤線蟲（ *M. incognita* ），爪哇根瘤線蟲（ *M. javanica* ）及花生根瘤線蟲（ *M. arenaria* ）多分佈於氣溫年平均溫度 15－33℃ 的地區。北方根瘤線蟲（ *M. hapla* ）則分佈在氣溫年平均溫度15℃以下的地帶。年降雨量低於500㎜的區域，有三分之二的蟲種是爪哇根瘤線蟲，三分之一是南方根瘤線蟲。一般言，根瘤線

蟲多棲息於偏砂土土質如砂壤土（＜10％粘粒（Clay），＜30％坋粒（Silt），＞60％砂粒（Sandy））的地方。全球分佈最廣的四大根瘤線蟲蟲種的染色體數目及生殖方式，業經研究清楚如表一。

表一、四大蟲種的染色體數目與生殖方式（取材自參考文獻[30]）

Chromosome numbers and modes of reproduction of the four major *Meloidogyne* species.

蟲種及細胞學小種	染色體數	生殖方式
1. 南方根瘤線蟲		
（*M. incognita*）		
A－小種	40－46	有絲分裂之單性生殖
B－小種	32－36	有絲分裂之單性生殖
2. 爪哇根瘤線蟲		有絲分裂之單性生殖
（*M. javanica*）	42－48	
3. 花生根瘤線蟲		
（*M. arenaria*）		
A－小種	54（50－56）	有絲分裂之單性生殖
B－小種	34－37	有絲分裂之單性生殖
4. 北方根瘤線蟲		
（*M. hapla*）		
A－小種	14－17	兼減數分裂之單性生殖
B－小種	30－32，43，45，48	有絲分裂之單性生殖

台灣位於亞熱帶，高溫多濕，降雨量高。農耕地又以砂土及砂壤土居多。所以是根瘤線蟲繁殖蔓延的最佳環境。故根瘤線蟲病害處處可見，非常嚴重，引人注目。遠自1924年（民國13年）日人澤田兼吉氏[21]即開始研究本省植物的根瘤線蟲為害問題，列舉本省有41科115種植物受根瘤線蟲寄生為害。台灣光復後，據云民國四十年（1950）左右，孫定國先生在種苗繁殖場從事根瘤線蟲防治研究，是國人在台灣研究線蟲病害問題之先鋒。接着季景元，施名南[6]等人以農地浸水及客土方式防治黃麻的根瘤線蟲病害。1956年（民國45年）洪章訓先生亦加入了黃麻根瘤線蟲病的研究[9]。蔡雲鵬，游江海，劉文珍等研究D－D混合劑防治鐘麻根瘤線蟲病，播種前每公頃施用200～400公升的藥量，才能有效地防治此病[16]。另杜金池與楊雪峯接蔡雲鵬之後，繼續土壤薰蒸劑如Fumazone 70E（DBCP）防治鐘麻根瘤線蟲[5]。1959年（民國48年）起，胡學和與朱學曾二先生開始台灣蔗園土壤線蟲的調查工作，發現根瘤線蟲影響甘蔗產量至鉅

[10]。檢查17,038件土樣中，根瘤線蟲的出現率高達62%。每年檢查13,697件不同土質土樣中，根瘤線蟲多分佈於砂質地。菸草是根瘤線蟲的良好寄主，故台灣菸葉試驗所的翁啓賢，黃東麟，許爾寬，陳文彥等人[11,12,13]先後研究根瘤線蟲對菸草的爲害情形及與其他土壤病害間的相關關係，發現南方根瘤線蟲（*M. incognita*）和爪哇根瘤線蟲（*M. javanica*）對培育在苗床與假植床內幼苗的生長，產生很大的抑制作用，惟獨N. C. 95具有極强抗力[12]。該蟲能誘導菸草立枯病及萎凋病發生[13]。洪元平與陳秀雄二人以接種方式研究台灣分佈最廣的南方根瘤線蟲（*M. incognita*）及爪哇根瘤線蟲（*M. javanica*）的寄主範圍，結果南方根瘤線蟲的寄主有51種，分佈最廣，爲害程度最大。爪哇根瘤線蟲之寄主有15種。兩種線蟲的共同寄主有12種如菸草，茄子，大豆，豌豆，豇豆，南瓜，木瓜，節瓜、蕃茄，香蕉，黃麻及鐘麻。不被爲害的有高粱，玉米，花生及鳳梨四種[7]。進而研究根瘤線蟲的生理小種，證明花生除了受來自台南白菜的南方根瘤線蟲小種爲害外，三種供試的 *M. incognita*，*M. javanica* 及 *M. incognita V. acrita* 均不侵害花生。故建議用花生作輪作作物防治前述三種線蟲[8]。但在程永雄與羅文成二氏，正式鑑定台灣雲林縣地區的花生田有花生根瘤線蟲[22]（*M. arenaria*）及王國强，楊瓊儒與蔡安娜等人[3]於苗栗縣太湖草莓栽植區發現北方根瘤線蟲（*M. hapla*）後，花生已不能用在輪作制度中防治根瘤線蟲。由於北方根瘤線蟲可能係經由草莓種苗帶進口的舶來品，當時筆者曾擬定一個三年就地撲滅計劃，可惜僅執行了一年，即因故出國作罷。十年後，該根瘤線蟲已隨觀光草莓園的推廣而傳播，據云可能已遍佈全省。使本省原有之數種根瘤線蟲蟲種，如虎添翼。給許多列爲抗根瘤線蟲的作物帶來威脅。令根瘤線蟲病害問題眞更複雜嚴重。

根據筆者服務林業界的經驗，如苗圃工作人員缺乏根瘤線蟲病害的警覺性，誤租前期作物是菸草或番茄，茄子，絲瓜，黃瓜，苦瓜等蔬菜作物的農地作臨時森林苗圃時，樹木幼苗一定會受根瘤線蟲爲害，且伴隨着幼苗立枯，根腐等土媒病害發生，幼樹苗損失慘重的例子是不勝枚擧。筆者的調查與盆栽接種試驗資料[1,32]顯示，本省森林苗圃常被根瘤線蟲爲害的樹種即達 8 科13屬17種之多如表二。

表2. 本省樹木幼苗受根瘤線蟲爲害的樹種

Table2. Species of forest tree seedlings attacked by root-knot nematodes in Taiwan

Species	Root—Knot nematodes
1. 柏木科（Betulaceae）	
台灣赤揚（*Alnus formosana*（Burkill）Mak.）	*M. incognita*
2. 柏　科（Cupressaceae）	
台灣扁柏（*Chamaecyparis obtusa* S. et Z. var. *formosana*（Hay）Rehder）.	*M. incognita*

3. 豆　科 (Leguminosa)	
麻六甲合歡 (*Albizzia falcata* (Linn) Bocher et Merr.)	*M. incognita*
相思樹 (*Acacia confusa* Merr.)	*M. incognita*
	M. javanica
洋　槐 (*Robinia pseudoacacia* Linn.)	*M. incognita*
4. 木犀科 (Oleacbae)	
光腊樹 (Faxinus retusa Champ.)	*M. incognita*
5. 松　科 (Pinaceae)	
琉球松 (*Pinus luchuensis* Mayr.)	*M. incognita*
美國白松 (*Pinus strobus* Linn.)	*M. incognita*
歐州松 (*Pinus sylvestris* Linn.)	*M. incognita*
維琴尼亞松 (*Pinus virginiana* Mill.)	*M. incognita*
紅　松 (*Pinus resinosa* Sol.)	*M. incognita*
挪威雲杉 (*Picea abies* (L.) Karst)	*M. incognita*
6. 玄參科 (Scrophulariaceae)	
泡　桐 (*Paulownia fortunei* Hemsl.)	*M. incognita*
7. 杉　科 (Taxodiaceae)	
杉　木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook)	*M. incognita*
柳　杉 (*Cryptomeria japonica* (L.F.) D.Don.)	*M. incognita*
台灣杉 (*Taiwania cryptomerioides* Hay.)	*M. incognita*
8. 榆　科 (Ulmaceae)	
台灣櫸 (*Zelkove serrata* (Thunb) Mak.)	*M. javanica*

植物寄生線蟲爲害台灣森林樹木的情形如何？仍有待專家們去探討。正如黃炤雄等人[14]在1970年左右爲證明台灣沒有穿孔線蟲 (Burrowing nematode , *Rodopholus similis* (Cobb 1896) Thorne 1949) ，曾邀集全省線蟲工作人員作全面性植物寄生線蟲調查。結果證明本省確實沒有該穿孔線蟲。因而在外交上打了一場科技應用勝戰，迫使日人不得不開放我國根莖類如生薑，胡蘿蔔等繼續銷日本的禁令。這是我國植病線蟲科技用在外貿談判上的首項例子，將永垂我國的植病歷史。故特在此一提。其報告就特別討論台灣佔地最廣的高山地區未列入調查，這是有待植物線蟲工作人員繼續完成的大任之一。蔡雲鵬先生[17]亦曾提到森林樹木的線蟲問題尚待調查。筆者有幸，曾在本省林業界工作過一段時間約略涉及了一點點森林苗圃的根瘤線蟲研究，特列前表，盼能收拋磚引玉之效。另林務局之應之璘小姐[23]爲防治泡桐根瘤線蟲病，曾做了不少土壤燻蒸試驗。結果均以衞本 (Vapam) 效果最優。

1980年以後，落花生在雲林一帶受根瘤線蟲爲害，引起程永雄等先生[22]注意，曾詳加研究。此外新生力軍蔡東纂先生自中興大學畢業後，即留校協助林奕耀教授繼續農作物線蟲研究。近幾年，蔡先生跑遍全省，將蔬菜，花卉等園藝作物的根瘤線蟲病害問題作了極詳盡的探討。其未發表的資料中即有41種蔬菜是根瘤線蟲的寄主。包括有：蠶豆，四季豆，豌豆，大豆，綠豆，胡瓜，醃瓜，西瓜，南瓜，苦瓜，絲瓜，葫蘆，蘿蔔，芥藍，結球甘藍，蕃茄，紅辣椒，甜椒，枸杞，空心菜，，甘薯，薑，芋，葱，田薯，玉米，不結球白菜，芥菜，花椰菜，菠菜，食用莧，胡蘿蔔，芹菜，香菜，婆羅門參，萵苣，薑蒿菜，馬鈴薯，茄子，大蒜，韮菜等。另蔡先生對葡萄根瘤線蟲[20]及發現南方根瘤線蟲爲害老葉[18]等，都是引人重視的問題。

我國南方諸省以稻米爲主糧。本省栽植水稻即是一種防治根瘤線蟲病的良好輪作制度。因爲農地浸水可以淹死根瘤線蟲。但是根瘤線蟲問題在水稻栽植區並未因此絕跡過。是以勾引起筆者探討種完水稻之後，田間第一次病原線蟲之來處的問題。始有筆者十多年前，調查根瘤線蟲雜草寄主的研究[2,32]。先後調查台灣農地常見的70種雜草，結果找到13科，22屬34種雜草是許多根瘤線蟲蟲種的良好寄主。後來蔡東纂和林奕耀二先生[19]將之發揚光大，發現了更多的雜草寄主。共19科45屬60種之多。

因爲植物病害的防治是預防重於治療。田間衞生往往是衆人忽略之處。這是造成流行病發生的重要原因之一，不得不注意。休耕是耕作法用來防治病蟲害與恢復地力的方法之一。大家考慮休耕地該種何種綠肥作物問題，就絕少人會檢討休耕田中應防止何種雜草繼續生長的問題。這是植物病蟲害工作人員未能盡到宣導防止何種病害應該注意淸除田間何類雜草的責任。爲此原因，筆者特將蔡，林二位[19]和筆者[2,32]的資料綜合整理出23科48屬69種田間常見根瘤線蟲作爲中間寄主的雜草供衆人參考。列如表三。

表三、台灣根瘤線蟲的雜草寄主表

Table3. Weed hosts of root—knot nematodes in Taiwan.

雜草（Weed species）	線蟲蟲種(Nema species)	根瘤指數與寄主反應等（Root-knot index and host status）	
1. 莧科（Amaranthaceae）			
野莧菜（*Amaranthus viridis* Linn.）	*M. incognita*[2,19,32] *M. javanica*[19]	4.0	根瘤衆多，非常好的寄主
刺莧（*A. spinosus* Linn.）	*M. incognita*[2,19,32] *M. javanica*[19]	4.0	根瘤衆多，非常好的寄主。
長梗滿天星（*Alternanthera philoxeroides*（Mart.）Griseb.）	*M. incognita*[19]	3.0	普通寄主

雜草（Weed species）	線蟲蟲種（Nema species）	根瘤指數與寄主反應等（Root-knot index and host status）
滿天星（*Alternanthera sessilis*(L.)DC.）	*M. incognita*[19]	3.2 普通寄主
2. 石竹科（Caryophyllaceae）		
荷蘭豆草（*Drymaria cordata*（L.）Wild.）	*M. incognita*[19]	4.0 根瘤衆多，非常好的寄主
鵝兒腸(*Stellaria aquatica*（L.）Scop.)	*M. hapla*[32]	3.0 根瘤小多支根，普通寄主
	M. incognita[19]	1.1
3. 藜　科（Chenopodiaceae）		
小葉灰藋（*Chenopodium ficifolium* Smith.	*M. incognita*[2,19,32]	4.0 很好的寄主
	M. hapla[2,33]	很好的寄主
	M. javanica[19]	
4. 菊　科（Compositae）		
白花霍香薊（*Ageratum conyzoides* Linn.）	*M. incognita*[2,19,32]	4.0 根瘤衆多，非常好的寄主
	M. javanica	
紫花霍香薊（*A. houstonianum* Miller.）	*M. incognita*	2.0
鬼針草（*Bidens bipinnata* L.）	*M. incognita*[19]	1.6
咸豐草（*B. pilosa* L.）	*M. hapla*[2,32]	很好的寄主，形成小根瘤及大的卵塊
田烏草（*Eclipta prostrata*（L.）Linn）	*M. incognita*[19]	1.2
	M. incognita[19]	4.0
昭和草（*Erechtites valerianaefolia*（Walf.）DC.）	*M. hapla*[2,32]	4.0 很好的寄主，形成小根瘤。
	M. incognita[19]	
兔仔菜（*Ixeris chinensis* Nak.）	*M. incognita*[2,19,32]	
	M. hapla	2.1 形成小根瘤，卵塊稀少，普通寄主。
腺菊花（*Saussurea glandulosa* *Kitam.*）	*M. hapla*[2,32]	形成稀少的小根瘤多支根。
豨薟（*Siegesbekia orientalis* Linn.）	*M. incognita*[19]	2.1
假吐金菊（*Soliva anthemifolia* *R.Br.*）	*M. incognita*[19]	2.6
長柄菊（*Tridax Procumbens* L.）	*M. incognita*[19]	2.3
黃花田藾草（*Wedelia Chinensis*（Osbeck.）Merr.）	*M. incognita*[19]	4.0

雜草（Weed species）	線蟲蟲種（Nema species）	根瘤指數與寄主反應等（Root-knot index and host status）	
	M. javanica(19)	4.0	
山菠薐（*Yongia japonica*（L.）DC..）	*M. hapla*(2,32)		很好的寄主
	M. incognita(19)	1.8	
泥胡菜（*Saussurea affinis* Spreng.）	*M. hapla*(32)		普通寄主，形成小根瘤及支根。
5. 桔梗科（Companulaceae）			
半邊草（*Lobelia radicans* Thunb.）	*M. incognita*(19)	2.2	
6. 景天科（Crassulaceae）			
台灣佛甲草（*Sedum formosanum* N.F.Br.）	*M. incognita*(19)	3.2	
7. 十字花科（Cruciferae）			
薺菜（*Capsella bursa-pastoris* Moench.）	*M. incognita*(19)	1.0	
小葉碎米薺(*Cardamine parviflora* L.)	*M. incognita*(19)	0.8	
獨行菜（*Lepidium virginicum* L.）	*M. incognita*(19)	0.7	
山芥菜（*Roripa indica*（L.）Hieron.）	*M. incognita*(19)	0.9	
8. 莎草科（Cyperaceae）			
扁穗莎草（*Cyperus compressus* L.）	*M. incognita*(19)	1.1	
球花蒿草（*C. difformis* L.）	*M. incognita*(19)	1.2	
畦畔莎草（*C. haspan* L.）	*M. incognita*(2,19,32)	2.0	普通寄主，形成小根瘤。
碎米莎草（*C. iria* L.）	*M. incognita*(19)	1.7	
磚子苗（*C. cyperoides*（L.）Ok.）	*M. incognita*(2,32)		普通寄主，形成很少的小根瘤。
多柱扁莎（*C. polytachyos* Rottb.）	*M. incognita*(2,19,32)	1.2	普通寄主，形成很少的小根瘤。
香附子（*C. rotundus* L.）	*M.* sp.(2,32)		普通寄主，形成根瘤，卵
	M. incognit (19)	3.4,	塊埋在根內。
球穗扁莎（*C. globosus*（All.）Reichb.）	*M. incognita*(19)	1.7	
木虱草（*Fimbristylis miliaceae*（L.）Vahl.）	*M. incognita*(19)	3.6	

雜草（Weed species）	線蟲蟲種（Nema species）	根瘤指數與寄主反應等（Root-knot index and host status）	
螢藺（*Scirpus juncoides* Roxb.）	*M. incognita*[19]	1.9	
9. 大戟科（Euphorbiaceae）			
飛揚草（*Euphorbia hirta* L.）	*M. incognita*[19]	1.4	
紅乳草（*E. thymifolia* L.）	*M. incognita*[19]	1.8	
10. 禾本科（Gramineae）			
四生臂形草（*Brachiaria subquadripara*（Trin.）Hitch.）	*M. incognita*[19]	2.0	
升馬唐（*Digitaria adscendens* Henr.	*M. incognita*[19]	1.0	
亨利馬唐（*D. henryi* Rendle.）	*M. incognita*[19]	1.0	
芒稷（*Echinochloa crusgalli*（L.）P.Beauv.	*M. incognita*[2,32]	1.9	很好的寄主，形成小根瘤。
台灣野稗（*E. crusgalli* Beauv. var. *formosensis* Ohwi.）	*M. incognita*[19]	1.9	
牛筋草（*Eleusine indica*（L.）Gaertn.）	*M. incognita*[2,19,32]	1.4	普通寄主，形成小根瘤。
兩耳草(*Paspalum conjugatum* Berg.)	*M. incognita*[19]	2.2,	
海雀稗（*P. virginatum* Sw.）	*M.* sp.[2,32]		普通寄主，形成小根瘤。
莠狗尾草（*Setaria geniculata*（Lamk.）P. Beauv.）	*M. incognita*[19]	1.9	
11. 豆科（Leguminosae）			
含羞草(*Minosa pudica* L.)	*M. incognita*[19]	1.2	
12. 酢醬草科（Oxalidaceae）			
黃花酢醬草（*Oxalis coniculata*	*M. incognita*[2,19,32]	4.0	普通寄主
	M. javanica[19]	4.0	
	M. arenaria[19]	4.0	
紫花酢醬草（*Oxalis martiana* Zucc.）	*M. incognita*[2,19,32]	4.0	普通寄主
	M. javanica[19]	4.0	
13. 柳葉菜科（Oenotheraceae）			

用效果。植保季刊5：431－441。

6.季景元，施名南，1955.黃麻試驗田改善經過及其對線蟲病防治成效。病蟲通訊2(2)：1－4。

7.洪元平，陳秀雄，1965.台灣兩種主要根瘤線蟲生活史及其寄主種類研究。農林廳53年植物保護試驗報告pp.251－258。

8.洪元平，1969.台灣地區根瘤線蟲生理小種調查及其抵抗性寄主與輪作制應用之研究。國家科學委員會研究報告第三期第二册。pp.303－331。

9.洪章訓，1956.洋麻黃麻線蟲病防除試驗。農業研究6(1)：25－28。

10.胡學和，朱學曾，1959.台灣蔗園土中線蟲調查。糖試所研究彙報19：35－51。

11.翁啓賢，黃東麟，1960.菸草線蟲病調查。菸試所年報49：151－152。

12.翁啓賢，許爾寬，1965.菸草根瘤線蟲病之研究。菸試所年報54：139－145。

13.陳文彥，1966.根瘤線蟲與菸草土壤傳染病關係之研究。農林廳55年度植物保護試驗所報告 pp.265－270。

14.黃炤雄，蔡雲鵬，林奕耀，杜金池，黃修斌，1972.台灣植物寄生線蟲。中央研究院植物研究所專刊第 1 號61pp。

15.楊瓊儒，王國强，黃芸修，1977.台灣根瘤線蟲種及病原小種之調查。植保季刊19(4)：311。

16.蔡雲鵬，游江海，劉文珍，1956.鐘麻根瘤線蟲病與D－D施用之效果（第二報）農業研究6(2)：39－48。

17.蔡雲鵬，1971.台灣之植物寄生性線蟲。台灣農業季刊7(3)：139－151。

18.蔡東纂，林奕耀，1983.台灣中部老花及老葉根瘤線蟲病害之發生。植保會刊25(4)：281－284。

19.蔡東纂，林奕耀，1984.台灣農地雜草根瘤線蟲之研究。中華民國雜草學會5：59－70。

20.蔡東纂，林奕耀，1985.台灣葡萄根瘤線蟲之發生及其傳播。中國園藝31(2)94－104。

21.澤田兼吉，1929.台灣に於ける根瘤線蟲の寄主植物，台灣博物學會會報第14年第72號 pp.16－24。

22.程永雄，羅文成，1980.落花生根瘤線蟲 *Meloidogyne arenaria* 之寄主範圍及殺線蟲藥劑施用適期之探討，植保會刊22(4)：431。

23.應之璘，1967.泡桐根瘤線蟲病燻殺劑之初步試驗。農林廳56年度植物保護試驗報告 pp.475－478。

24. Esser, R.P. 1987. Checklist of Phytoparasitic nematode genera, subgenera and the number of species described in each taxon. Nematology newsletter 33(2):6-8.

25. Fawzia, Abdel-Rahman and A.R. Maggenti, 1987. *Meloidogyne californiensis* n, sp.

(Nemata: Meloidogyninae) parasitic on bulrush, *Scirpus robustus* Pursh. J. Nematology 19(2):207-217.
26. Maggenti, A.R. 1981, General Nematology, Springer-verlag, New York 372 pp.
27. Mai, W.F. 1985. Plant-parasitic nematodes: their threat to agriculture. pp. 12-17 In An advanced treatise on *Meloidogyne* Vol. I. eds. Sasser, J.N. and C.C. Carter, North Carolina State University Graphics, Raleigh, N.C. 422 pp.
28. Rammah, A. and H. Hirschmann, 1988. *Meloidogyne mayaguensis* n. sp. (Meloidogynidae), a root-knot nematode from Puerto Rico. J. Nematology 20(1):58-69.
29. Sasser, J.N. and C.C. Carter, 1985. Overview of the International Meloidogyne Project 1975-1984. pp. 19-24. In An advanced treatise on *Meloidogyne* Vol. I. eds. Sasser, J.N. and C.C. Carter, North Carolina State University Graphics, Raleigh, N.C. 422 pp.
30. Thorne, G. 1961. Principles of Nematology, McGraw-Hill Inc. New York, London. 553 pp.
31. Wang, K.C., Bergerson, G.B. and R.J. Green, Jr. 1975. Effects of *Meloidogyne incognita* on selected forest tree species. J. Nematology 7(2):140-149.
32. Wang, K.C. 1978. Research on root-knot nematodes at National Taiwan University. Kasetsart J. 12(1):36-42.

討　　論

黃秋雄（農業試驗所）問：

根瘤線蟲為害塊莖類作物，如紅蘿蔔，對於生長是否會影響人體健康？

王國强（國立台灣大學）答：

沒有影響，說不定還會增加一些動物蛋白。

林奕耀（國立中興大學）問：

有關雜草根瘤線蟲之資料是否已發表？其雜誌名稱，年代如何？

王國强（國立台灣大學）答：

是項資料已於1977（或1978）的台灣植物保護學會年會發表，並刊登在1978年的Kasetsart Journal、12（1）：36-42。

張玉珍（林業試驗所）問：

王教授是否對台灣赤楊之根瘤線蟲做過分離觀察？因為根瘤線蟲病徵常被誤認為是根瘤菌所寄生。

王國强（國立台灣大學）答：

有作解剖分離且得到很完整的卵塊，其根瘤之色澤及形狀與根瘤菌引起之根瘤截然不同。

Symp. of Pl. Nem. Dis. Contr.: P 15～P 32 (1989)

台灣松材線蟲萎凋病之發生及其防治

曾顯雄[1]　顏志恆[2]

摘　　要　松材線蟲萎凋病自1913年首次於日本被報導發生之後逐漸蔓延，成爲二十世紀以來，日本林業最爲嚴重之流行病害；每年枯死之松樹達數百萬株，用以防治之經費，高達日幣120億，損失至鉅。本病證實由松材線蟲 *Bursaphelenchus xylophilus* 感染爲害所致，而由天牛媒介傳播。罹病之松樹首先流脂停止、水分蒸散減少、運輸困難，繼之，針葉轉呈紅棕色，最後，整株迅速萎凋死亡。被害松樹（Pinus）種類已達22種；除外，極少數之冷杉（Abies）、雪松（Cedrus）、落羽松（Larix）、雲杉（Picea）亦有罹病之報導。目前，除日本以外，松材線蟲萎凋病亦在美國33州、加拿大南部、中國大陸南京一帶發生。而本省北部桃園縣、台北縣枯死之黑松、琉球松也證實係由松材線蟲感染所致；目前發病地點多達18處，但仍以侷限於桃園縣、台北縣一帶，追踪顯示，本病似有逐漸擴展、蔓延之趨勢。一則有鑑於過去本病在日本爲害慘重，再則，本省全年之生態條件比之日本似更適於松材線蟲以及媒介昆蟲的繁殖，若任其蔓延，則終將波及宜蘭縣爲數達五、六萬公頃之琉球松林，影響景觀、水源涵養、水土保持以及造成經濟層面之損失，故宜迅速謹愼採取適當之防治措施。所謂他山之石可以攻錯，借鏡日本之防治方法，針對本省之松樹線蟲萎凋病，願意提供幾點意見，以供防治之參考。

一、罹病地區，如大溪、慈湖、復興鄉、角板山、廻龍、泰山、三峽、陽明山、石門……等處枯死之松樹，宜立即加以砍伐，迅速焚燬，或送製紙廠做爲紙漿原料。

二、上述罹病地區，仍蒼翠健康之松樹，宜以滅豬松（

1. 國立台灣大學植物病蟲害學系教授
2. 國立台灣大學植物病蟲害系碩士

Morantel）、殺線蟲劑，行樹幹高壓灌注，每2～3年一次；其目的在收預防之效果。

三、台北縣、宜蘭縣山區較爲感病之琉球松林，考量經濟效益、生態條件，若合適時，以較爲抗病之濕地松林予以取代更新。

四、避免罹病地區之松材轉運至其他縣市，以免人爲助長病原之傳播。

松樹線蟲萎凋之機制，雖經報導和代謝所產生之毒素有關，但仍有待進一步探討。在防治方面，根本解決之道，在於抗病育種。不論經由傳統之雜交育種或經由組織培養之無性繁殖等途徑亦皆有待研究與發展。

一、前　　言

松林在台灣北部，在七〇年代有零星之萎凋發生之報導。以往一向認爲此類之萎凋係由於潰瘍病或天牛取食爲害所致。1983—1985年間萎凋病在北部桃園、台北兩縣迅速蔓延，日趨嚴重。由萎凋松樹所檢出之線蟲所具之型態、構造特徵以及體軀值（表一）和日本、美國所報導之松材線蟲相同（圖1,4—8），故應爲同種殆無疑義[1,2,8,13,14]。省產之松樹、黑松、琉球松，在感染得病後所呈現之徵狀和病勢進展過程（圖2,3）也和日本[13]、美國[26]所報導者極其略似，故確證本省松材線蟲萎凋病的存在（1,2）。

松樹萎凋病於1913年首先於日本長崎報導其發生[29]，其後逐漸蔓延，而成爲日本20世紀林業最嚴重的流行病[14]。據日本農林水產省之統計，因本病所引起之損失，由1930年的三萬立方公尺材積增加到1979年間的二百四十萬立方公尺材積；被害松林達50萬公頃，約佔日本總林面積的百分之二十五[14]。本病除日本以外，在中國大陸[16]、香

表一　台灣松樹線蟲之體軀值

Table 1. Dimension of a Taiwanese Population of *Bursaphelenchus xylophilus*.

Sex	Source	Measurement					No. of Nematode Measured
		Body length (μm)	Body width (μm)	a-value	Spear (μm)	V-value	
Female	Taiwan	1257.2±82.5	29.9±3.4	41.0±3.3	14.2±3.3	76.1±1.6	10
Male	Taiwan	1174.9±78.6	29.4±3.6	39.1÷3.4	13.9±1.6	—	10

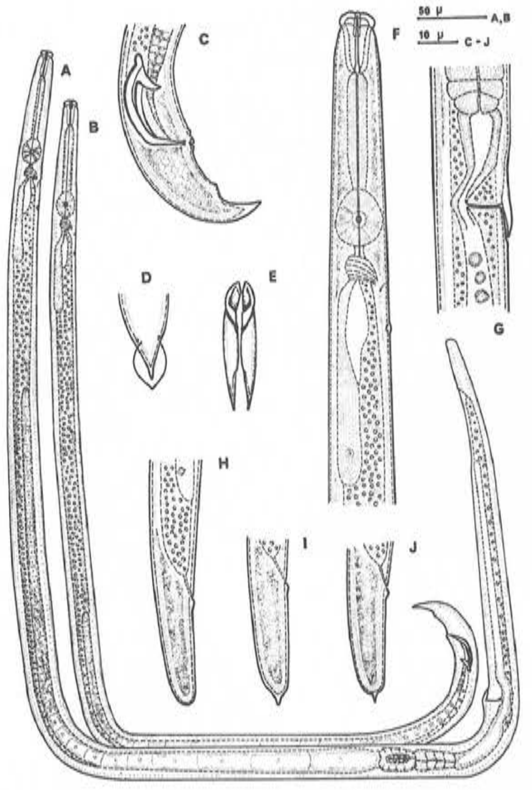


圖1 松材線蟲各部型態構造圖（摘自 Mamiya & Kiyohara 1972）A.雌蟲　B.雄蟲　C.雄蟲尾部　D.雄蟲尾部尖端及交接囊　E.由腹部觀察可見一對交接刺　F.前半部　G.雌蟲生殖口　H－J雌蟲尾部

圖2 台北縣廻龍地區黑松罹患松材線蟲萎凋死亡之情形。

圖3 台北縣金山地區琉球松罹患松材線蟲萎凋病之情形。紅棕色之植株即爲枯萎之松樹。

圖4 形態

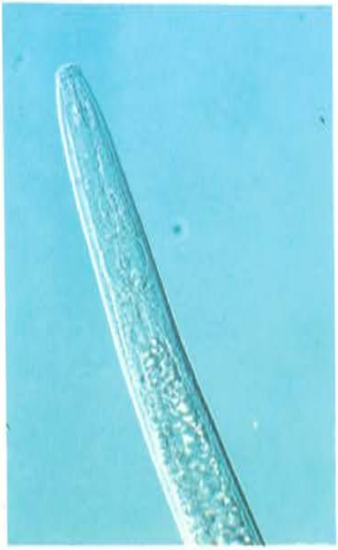


圖5 中部食道球膨大約占體寬四分之三以上

圖6 雄蟲之尾端呈鷹爪狀，且交接刺前端呈圓盤狀，並有交接囊

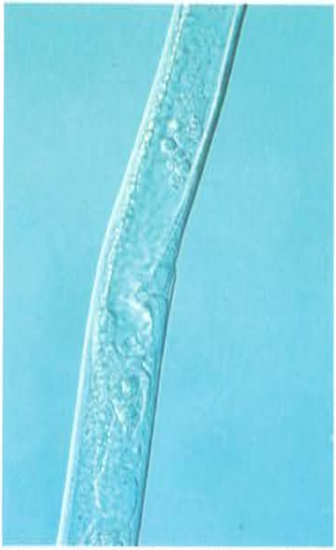


圖7 雌蟲之生殖孔具有生殖孔蓋

圖8 雌蟲尾部呈手指狀

圖4～8 松材線蟲 *Bursaphelenchus xylophilus* 之形態及其構造

港[28]、加拿大[3]、法國[7]也都有發生之報導。有鑑於此病之嚴重性，爲防止此病原線蟲無意中被引進，歐洲各國對松材之進口，都有相當嚴格之檢疫措施，本文擬就寄主樹種、病害發展史，以及防治策略加以詳論，以提供參考。

二、寄主樹種

據日本或美國的調查或接種試驗顯示，共有34種松樹（*Pinus* spp.），或2種落葉松（*Larix* spp.），3種雪松（*Cedrus* spp.），2種雲杉（*Picea* spp.），及1種冷杉（*Abies* sp.）皆可遭受松材線蟲感染[8,14]。但其中以日本黑松、日本赤松、琉球松、歐洲赤松、輻射松，以及奧地利松最易感病，被害之程度也最爲嚴重。本省之固有松樹樹種如台灣二葉松就極爲抗病，但所引入之黑松及琉球松卻極爲感病，而且在台北、宜蘭一帶栽植面積甚廣，故應特別防患（表二）。

表二　本省引進及本地種松樹對松材線蟲之抗感病性

抗、感病性	中名	學名
極感病	1. 日本赤松	*Pinus densiflora*
	2. 琉球松	*P. luchuensis*
	3. 奧地利松	*P. nigra*
	4. 輻射松	*P. radiata*
	5. 歐洲赤松	*P. sylvestris*
	6. 日本黑松	*P. thunbrgii*
感病	1. 傑克松	*P. banksiana*
	2. 砂地松	*P. clausa*
	3. 海松	*P. koraiensis*
	4. 卵果松	*P. oocarpa*
	5. 法國海岸松	*P. pinaster*
有發病報導	1. 芒刺松	*P. echinata*
	2. 濕地松	*P. elliottii*
	3. 哈列布松	*P. halepensis*
	4. 大王松	*P. palustris*
	5. 剛葉松	*P. rigida*
	6. 白松	*P. strobus*
	7. 德達松	*P. taeda*
抗病	1. 馬尾松	*P. massoniana*
	2. 台灣二葉松	*P. taiwenensis*

抗、感病性	中名	學名
可能為罹病，應注意	1. 日本冷杉	*Abies firma*
	2. 台灣冷杉	*A. kawakamii*
	3. 雪松	*Cedrus deodara*
	4. 落葉松	*Larix kaempferi*
	5. 台灣雲杉	*Picea morrisonicola*
	6. 台灣華山松	*Pinus armandii var. masteriana*
	7. 瘤果松	*P. attenuata*
	8. 加拿利松	*P. canariensis*
	9. 島松	*P. insularis*
	10. 長葉松	*P. longifolia*
	11. 南洋松	*P. merkussii*、
	12. 台灣五葉松	*morrisonicola*
	13. 重枝松	*P. patula*、*P*
	14. 笠松	*picea*
	15. 羅氏松	*P. roxburghii*

三、病害發展史

病徵——

被感染之松樹，少數枝梢首先呈現黃化，然後轉變成深紅色、紅棕色，死亡。其後萎凋逐漸蔓延至其它之枝條上，最後整株針葉變成紅棕色，而萎凋死亡（圖2,3）[14,26]。一般初夏感染之松樹，於夏末即萎凋死亡，發病歷程為時僅15天到3個月而已。

病原——

松樹萎凋病以往皆以為係由於昆蟲，尤其是天牛科、象鼻蟲科以及小蠹蟲科之昆蟲取食所致。1969年 Tokushige 和 Kiyohara 兩氏在研究眞菌和此病害之關係時，偶然發現松材中有大量松材線蟲之存在。更進一步經由接種試驗證實此類松材線蟲之單獨為害可導致松樹萎凋[24]。Mamiya 及 Kiyohara 於1972年將此松材線蟲命名為 *Bursaphelenchus lignicolus*（圖1）[13]。但美國之 Nickle 等氏於1981年在比較 *B. lignicolus* 和 *B. xylophilus* 之型態特徵以及進行交配試驗，證實 *B. lignicolus* 為 *B. xylophilus* 之同種異名（Synomym）[15,16]。*B. xylophilus* 早在1929年即由 Steiner 和 Buhrer 兩氏發現存活於大王松（*P. palustris*）之松材中，並命名為 *Aphelenchoides xylophilus*[21]。但當時仍不知此線蟲可以引起松樹萎凋病。Nickle 於1970年在研究

Aphelenchoides 這科各屬之分類學時，認爲 *A. xylophilus* 雄蟲具交接尾囊（Bursa）（圖6），雌蟲具生殖孔蓋（Vulval flap）（圖7）等特殊構造，故特立一新屬 *Bursaphelenchus*，而將 *A. xylophilus* 改爲 *B. xylophilus*(5)。台灣由桃園縣、台北縣等十五處萎凋枯死之黑松或琉球松（表三）所分離之松材線蟲之形態構造特徵或體軀值（圖4—8，表一）和美國(8,10)或日本(13)所報導之松材線蟲相符合，故應爲同一種殆無疑義。本省各地所分離之松材線蟲不論對黑松或琉球松都有很強之病原性（表四）。但松材線蟲來自不同寄主或地點，常有不同致病能力之品系存在，這在日本或美國都曾有報導(5,8,14)。

表三　全省已發現松材萎凋病之地點

Table 3. Pine wilt disease distribution in Taiwan.

發現地點	簡稱	樹種
1.臺北縣樹林鎮迴龍社區	迴龍（Hui—Long）	黑松
2.中壢市中正理工學院	中壢（Chung—Li）	黑松
3.桃園市虎頭山公園	桃園（Tao—Yuan）	黑松&琉球松
4.臺北縣三峽鎮白鷄廟	三峽（San—Xia）	琉球松
5.臺北縣淡水鎮行忠社區	淡水（Dan—Shui）	琉球松
6.臺北縣關渡鄉	關渡（Guan—Du）	琉球松
7.臺北縣金山鄉雲台樂園	金山（Jing—Shan）	琉球松
8.臺北縣石門鄉	石門（Shi—Men）	琉球松
9.桃園縣大溪鎮	大溪（Da—Syi）	黑松&琉球松
10.臺北縣坪林鄉小格頭	小格頭（Xiao—Ge—Tou）	琉球松
11.臺北市陽明山國家公園	陽明山（Yang—Ming—Shan）	黑松
12.臺北縣新店市	新店（Xin—Dian）	琉球松
13.臺北縣泰山鄉	泰山（Tai—Shan）	琉球松
14.臺北縣石門鄉茂林社區	茂林（Mao—Lin）	琉球松
15.桃園縣復興鄉	復興（Fu—Hsing）	黑松&琉球松

表四　本省十五個罹病地區分離出之松材線蟲接種於日本黑松及琉球松幼苗，所得之累積死亡率。

Table 4. Cumulative mortality of Japanese black pine (*Pinus thunbergii*) and the luchu pine (*P. luchuensis*) inoculated with *Bursaphelenchus xylophilus* extracted from 15 areas.

Inoculum source	Cumulative mortality (%)	
	P. luchuensis	*P. thunbergii*
TY （桃園）	80 (4/5)#	-----*
SX （三峽）	100 (5/5)	-----
TS （泰山）	100 (5/5)	-----
CL （中壢）	80 (4/5)	-----
HL （迴龍）	80 (4/5)	-----
SM （石門）	80 (4/5)	-----
DSh （淡水）	80 (4/5)	-----
DSi （大溪）	100 (5/5)	-----
JS （金山）	-----	100 (5/5)
XGT （小格頭）	-----	80 (4/5)
ML （茂林）	-----	80 (4/5)
XD （新店）	-----	100 (5/5)
GD （關渡）	-----	80 (4/5)
YMS （陽明山）	-----	100 (5/5)
FH （復興）		100 (5/5)
CK （對照組）	0 (0/5)	0 (0/5)

Inoculated dead trees/total inoculated trees

* Not determined

媒介昆蟲——

松材線蟲主要存活於松材之松脂管（Resin canal）、射髓或維管束、形成層…等處，故在自然界無法依賴風雨傳播，非得依賴其它媒介不可。在自然界松材線蟲之得以迅速蔓延，主要借助媒介昆蟲，尤其是鞘翅目、天牛科之天牛傳播。在台灣、日本爲松斑天牛（*Monochamus alternatus*）（圖9），而在美國爲長角卡羅來納天牛（*M. caroli-ensis*）[8,10,11]。天牛、松材線蟲二者間存在相當微妙之共生關係[26]。存活於枯死

β-ethanol所吸引，而於樹皮下產卵（圖10），卵於一週內孵化成幼蟲，而於樹皮中蛀食（圖11,12），待成長為四齡幼蟲時，鑽入邊材中，在蛀食孔道末端形成蛹室越冬。翌年早春，羽化為成蟲時，分泌誘引物質，誘引松　線蟲。隨後線蟲進入天牛之氣管。此攜帶有線蟲之天牛離開枯樹（圖13），飛到健康松株取食，再次開始另一新的病害環（圖14）。

繁衍之目的。松樹之松脂分泌也因松材線蟲之感染大量降低甚至停止，而天牛之幼蟲也可避免為松脂所溺，而順利成長[26]。

圖9 松斑天牛之雄蟲於松樹枝梢取食

病害環——

在日本5—7月下旬，羽化之松斑天牛自枯死之松樹飛出，同時於氣管中攜帶四齡之傳播型之松　線蟲。飛出之天牛於幼嫩松樹枝條上取食，此時，松材線蟲由天牛之氣管及氣門中游出，移到腹部體節處，然後脫離昆蟲體表，由天牛之取食傷口進入松樹枝條之組織內，三小時後即可　入松脂管中（圖16），後取食松脂管　上皮細胞及鄰近之薄壁細胞（圖17）。四齡之傳播型松材線蟲，兩天後脫皮而變成成蟲，並開始繁殖，約6—20天後在木質部或皮層之松脂管中可發現新一代之卵及二齡幼蟲，但線蟲族羣仍局限於感染部位附近。20～30天後，葉片蒸發量減少，甚至停止，轉呈紅色，並開始萎凋。此時松樹邊材失水，其它之侵入之眞菌及細菌大量繁殖。眞菌也提供松材線蟲部分之食物來源，使線蟲族羣迅速增加，分佈擴散全株。另一方面，羽化後之天牛一邊傳播線蟲、一邊取食，經過2—3週後成熟，便被罹病松樹所產生之揮發性物質、如α-pinene及

松樹木材內之天牛之幼蟲，在化蛹越冬後，將羽化變成成蟲時，會分泌未飽和脂肪酸或呼吸所產生之二氧化碳具吸引松材線蟲之能力。松材線蟲在被吸引前往後，經脫皮後變成傳播型第四齡幼蟲，進入天牛成蟲頭、胸、腹、脚或觸角上之氣管。天牛飛出，遷移到新的松樹植株取食或產卵時，松材線蟲即可游出氣管、氣門，而由傷口進入松材之松脂管內襯之上皮細胞（Epithelium cells）或鄰近之射髓薄壁細胞取食，而達到傳播、

本省氣候遠較日本溫暖，松斑天牛或許無所謂越冬，並且生活史一年不少於五代（N. Enda , 1988, 個人通訊），因此一年常見有罹病松樹枯死（圖2，3），故病害環理應與日本或美國有所差異，但詳情有待探討。

圖10 松斑天牛成蟲產卵所留下之產卵痕跡

圖11 松斑天牛之幼蟲

圖12 松斑天牛取食松材所排出之取食木屑

圖13 松斑天牛之羽化孔

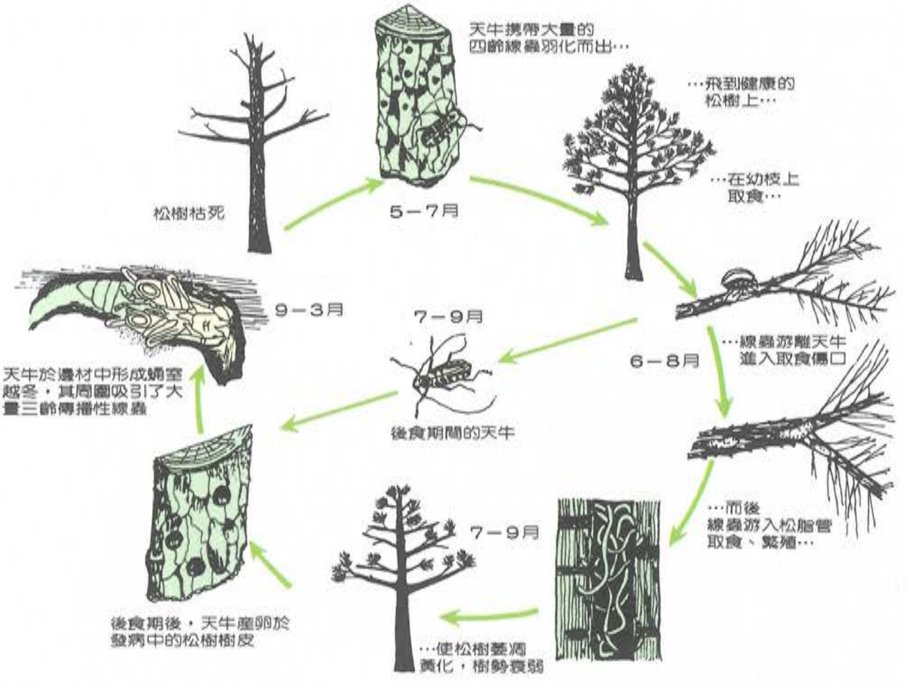


圖14松樹萎凋病的病害環（摘自Wingfield等，1982）

病態組織學及生理學之變化一

松樹自感染松材線蟲到發病枯死，歷程極短，不過數月而已，這其間其組織學及生理學上之變化極大，此與松樹迅速死亡關係密切。

大部分的松材線蟲於接種後數小時內，經由傷口進入松脂管，而有少部分由木質部和皮層游入松樹組織內[14,22]。接種後 1 天，線蟲所在之松脂管其上皮細胞之細胞質呈顆粒化，細胞核變形（圖16）[2,22]，此和正常細胞顯然不同（圖15）[2]。此外，上皮細胞周圍之薄壁細胞也褐變，壞死（圖17）[2,22]，而後線蟲在軸松脂管（Axial resin canal）及徑松脂管（Radial resin canal）上下左右移動，這些部位之松脂管被破壞之部份增大（圖18），而後其鄰近之薄壁細胞亦隨之逐漸死亡，這時最重要的生理變化是流脂顯著減少，呼吸率上昇[14]。接種後10天左右，形成層及韌皮部細胞開始變色，擠壓變形（圖19，20）[2]。有一些體形較小的二齡幼蟲穿過射髓管胞之孔隙達到假導管[14,22]，使其輸送水分能力受阻，蒸散降低[23]。其後流脂完全停止，接種部位上下附近之木質部薄壁細胞幾乎全死，而此時線蟲之族羣大增，超過接種量10倍以上，且分散全

身[14]，致使被破壞之部位隨之擴大，形成層褐化，不再分裂，且形成許多空室。往後數日，幾乎所有松脂管的上皮細胞及鄰近薄壁細胞都被破壞；皮層、韌皮部、形成層及射髓管胞等細胞之原生質收縮，變色及顆粒化，細胞核亦消失而死亡[23]。此時蒸散率幾乎完全停止，松樹萎凋呈紅棕色而枯死[14]。

Mamiya 認為松樹迅速枯死之原因是上皮細胞及薄壁細胞被破壞[14]，而足以破壞或殺死這些細胞係由於線蟲所分泌之纖維分解酵素（Cellulase）所致[17]。然而在感染初期，遠離感染處之一些細胞在未被松材線蟲取食之前即已死亡，故可推測另有些化學

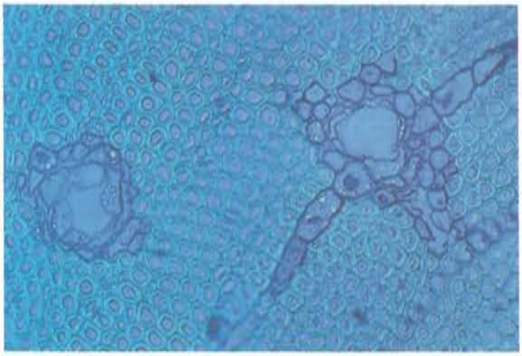


圖15　健康琉球松之松脂管構造（400×）

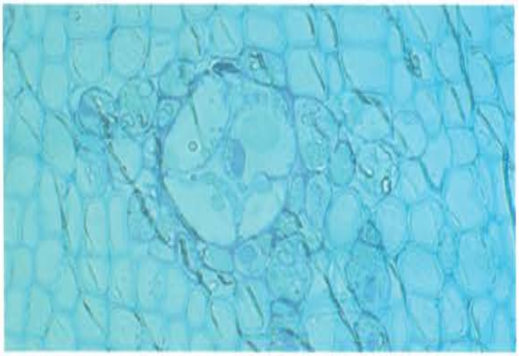


圖16 琉球松接種松材線蟲四天後，上皮及薄壁細胞顆粒狀變性之情形（400×）

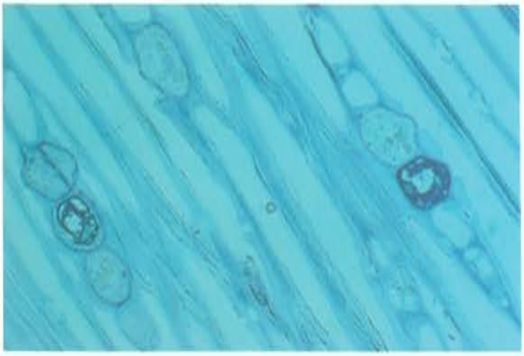


圖17　琉球松接種松材線蟲十五天後，射髓薄壁細胞壞疽死亡，某些則膨大阻塞紋孔（400×）

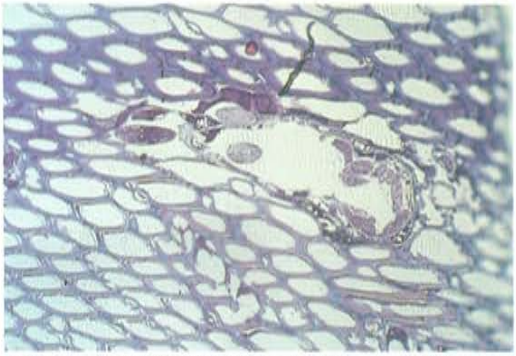


圖18　琉球松接種松材線蟲三十天後，被線蟲取食之松脂管上皮細胞及射髓薄壁細胞遭受破壞，死亡，而造成許多空腔（400×）

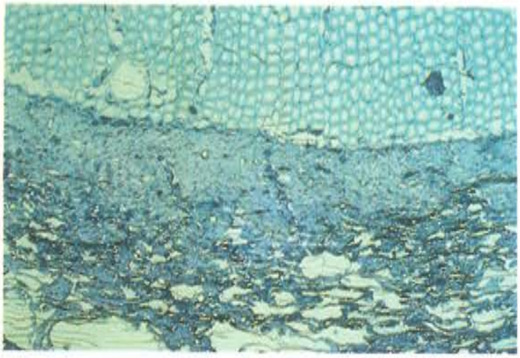


圖19　琉球松接種松材線蟲三十天後，韌皮部及形成層細胞受擠壓變形，並且崩解（200×）

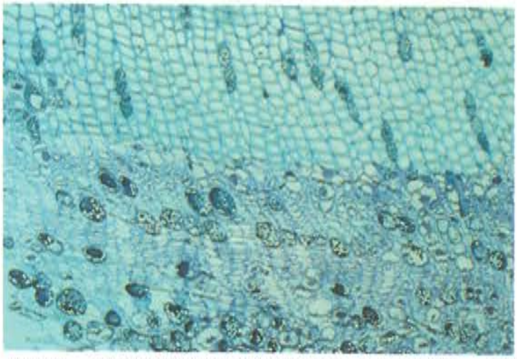


圖20　琉球松接種松材線蟲十五天後，韌皮部薄壁細胞顆粒化死亡之情形（200×）

物質與萎凋病徵之表現有關[4,8,1820,25]。OKu 等氏首先從罹病之日本赤松抽取一些水溶性毒素[18]，Boll 等[4]及 Shaheen 等氏[20]亦從歐洲赤松抽取同樣之毒素來。將這些毒素處理健株時，同樣可以表現出萎凋病徵[10,20,25]。巧合的是萎凋反應因松樹種類之不同而有不同之敏感度，其敏感度之高低與該樹種對 *B. xylopilus* 之感病性成正比[10,20,25]。這些萃取之毒素爲低分子量，非酸性，耐熱性而具透析性的脂質，可能是酚類或碳酸類[20]。Veda 等氏曾鑑定出其中四種：Benzoic acid , Pyrocatechol, 8－Hydroxycarvotanacetone , 及 Dihydrocaniferyl alcohol，而其中 Benzoic acid 與 8－Hydroxycarvotanacetone 所造成之病徵與線蟲感染者極爲相似[24]。在線蟲感染初期，便產生這些毒素[4]，而此時松脂管之流脂已減少，氣孔50％關閉，且線蟲尙未分佈全株，而線蟲族羣亦未大增，如此可說明此等毒素是造成早期病徵之主要因素之一[4]。這些毒素在健康之松樹抽取不到[10,20,25]，故顯然係松樹感染線蟲所產生之不正常代謝物[18]。

由上述各項研究初步結果，顯示之證據可以解釋萎凋之部份機制。台大植病研究室爲探討此萎凋機制，曾分析比較抗病（濕地松 *P. elliottii*），感病（黑松 *P. thunbergii*）松樹在感染松材線蟲之病變過程（Pathogenesis）植物生長素之變化情形。在生長素 Indole—3— acetic acid（IAA），Cytokinin（Zeatin , Zeatin riboside），Abscisic acid（ABA）及 Ethylene 中，雖有所變動，但其中以 Ethylene 之變動最具戲劇性。日本黑松在接種線蟲15－30天後，乙烯量劇增，而爲對照組之15至100倍。而濕地松在接種線蟲15－30天後乙烯量無明顯之變化[2]。乙烯可誘使植物防禦素（Phytoalexin）的產生，而 Bolla 等氏的報告指出防禦素之過量產生和松樹萎凋死亡有關[4]。乙烯之異常是松樹萎凋死亡之因或是果，仍需待更進一步的研究證實。

發病生態—

環境因子會改變松樹對松材線蟲之罹病性，亦會影響松樹萎凋病之流行。其中，尤以溫度及水分最爲重要。在松樹生長期間，若遇高溫，乾燥之氣候，病害之損失便急速增加[14]。Mamiya 氏以爲一地區之年平均溫可當做該地區松樹萎凋病發生之重要指標。如日本松樹萎凋病發病最嚴重的南部地區，年平均溫便在15－17℃以上；至於日本北部，則年平均溫度僅10－12℃以下，故發病輕微[14]。在接種試驗上，亦有相同之結論。在接種溫度25℃及30℃時，在接種後30－45天內便可出現病徵，而15℃及20℃病徵便無法表現[10]。

由日本所得之研究結果來加以判斷，似乎本省所具備之環境條件更適於松材線蟲萎凋病之流行。這點令我們對本病之發生不能不持戒愼之態度。

三、防 治 策 略

全世界之松材線蟲萎凋病，以日本最爲嚴重，因而有關防治之研究做的最多，而防治工作也做得最爲徹底，可資借鏡之處亦最多[9,14]。日本在1970年以前，主要採用林間衛生防治法，砍伐病株，剝去樹皮，加以燒毀。1970－1982年間，改以葯劑爲主，全面噴葯防治控制媒介昆蟲以及松材線蟲。防治媒介昆蟲之葯劑，如 Fenitrothion 、 Fenthion 、 Diazinun 及 Carbaryl ，採用高壓噴霧器或直昇機，於天牛羽化初期及最盛期進行噴葯。至於控制松材線蟲之族羣，主要以樹幹注射葯劑爲主[19]。一般於天牛產卵前三個月，於離地50公分處，用鑽孔器打一直徑0.9公分，深５－10公分之洞，以高壓灌注器灌注 Mesulfunphas (Nemanon) 或 t—Morantel—tartaric acid (Greenguard)，可保護松樹達兩年之久 。但一般費時、費力，故只適於小面積單株，如公園、校園、廟園、行道樹等[12]。至於1983年以後，逐改以對特定目標進行綜合防治，除以葯劑控制媒介昆蟲，病原線蟲外，尙進行抗病育種及選種。在發病嚴重（超過90％）之松林中，選取未發病之松樹作爲接穗，而後接種試驗其抗病性，以高抗病性之火炬松二年生幼苗作對照組，作進一步的篩選。而後再用病原性更高之松材線蟲做最後之篩選。目前已知由抗病性之馬尾松與罹病性之日本黑松育成極高抗病性之和華松 *(P. thunbergii* ×*P. massoniana)*[19]。

所謂他山之石可以攻錯，借鏡日本之防治方法，針對本省之松樹線蟲萎凋病，願意提供幾點意見，以供防治之參考。

一、罹病地區，如大溪、慈湖、復興鄉、角板山、迴龍、泰山、三峽、陽明山、石門……等處枯死之松樹，宜立即加以砍伐，迅速焚燬，或送製紙廠做爲紙漿原料。

二、上述罹病地區，仍蒼翠健康之松樹，宜以滅豬蟲 (Morantel)、殺線蟲劑，行樹幹高壓灌注，每２～３年一次；其目的在收預防之效果。

三、台北縣、宜蘭縣山區較爲感病之琉球松林，考量經濟效益、生態條件，若合適時，以較爲抗病之濕地松林予以取代更新。

四、避免罹病地區之松林轉運至其他縣市，以免人爲助長病原之傳播。

松材線蟲萎凋之機制，雖經報導和代謝所產生之毒素有關，但仍有待進一步探討。在防治方面，根本解決之道，在抗病育種。不論經由傳統之雜交育種或經由組織培養之無性繁殖等途徑亦皆有待研究與發展。

四、結　　論

松樹萎凋病是一極爲嚴重之森林病害，影響景觀、水源涵養、國土保安以及經濟層面之損失，故應立即進行全面防治，以防治止病之繼續蔓延。就基礎研究而言，此病之萎凋機制仍不甚清楚；其它之微生物，尤其是眞菌，是否可和松材線蟲具有協力作用，而造成複合性病害，亦尚未清楚[27]，此皆值得更進一步之研究。

五、參考文獻

1. 曾顯雄、朱耀沂。1986。 松材線蟲病及防治對策。28頁。台灣省林務局印行。
2. 顏志恆。1988 松樹萎凋病之研究及其防治。台大植病研究所、碩士論文。169頁。
3. Anon. 1984. Forest insects and disease conditions in Canada. Canada Forestry Service, Ottawa.
4. Bolla, R.I., F. Shaheen, and R. E. K. Winter. 1984. Effect of Phytotoxin from nematode-induced pine wilt on *Bursaphelenchus xylophilus* and *Ceratocystis ips*. J. Nematology 16:297-303.
5. Bolla, R. I., R. E. K. Winter, K. Fitzsimmons, and M. J. Lint. 1986. Pathotypes of the pine wood nematode, *Bursaphelenchus xyolphilus*. J. Nematology 18:230-238.
6. Cheng, H.R., M.S. Lin, W.C. Li, and C.D. Fang. 1983. The occurrence of a pine wilting disease caused by a nematode found in Nanjing. Forest Pest and Disease 4:1-5.
7. De Guiran, G., and A. Boulbria. 1981. Importance and characters of *Bursaphelenchus lignicolus* attacks on *Pinus pinaster* in France. Proc. 27th IUFRO world Congr. Committee Press.
8. Dropkin, V. H., A. Foudin, E. Kondo, M. J. Linit, M. Smith, and K. Robbins. 1981 Pine wood nematode: A threat to U. S. forests? Plant Dis. 65:1002-1027.
9. Ikeda, T. 1984. Integrated pest management of Japanese pine wilt disease. Eur. J. For. Path. 14:398-414.
10. Kondo, E., A. Foudin, M. J. Linit, M. Smith, R. I. Bolla, R. E. K. Winter, and V. H. Dropkin. 1982. Pine wilt disease - nematological, entomological, and biochemical investigations. 56pp. Missouri Agri. Exp. Sta. Publication. SR 282.
11. Linit, M. J. 1987. The insect component of pine wilt disease in the United States. *In* Pathogenicity of the pine wood nematode (M.J. Wingfield ed.) pp. 66-73.APS Press 122pp.

12. Magara, M., K. Hara, E. Inone, Y. Hatashi, A. Fujishits, and N. Nohira. 1981. Investigations of new techniques for the control of pine wilt treatment of single trees with chemicals. For. Pests. 30:11-16.

13. Mamiya, Y., and T. kiyohara. 1972. Description of *Bursaphelenchus ligicolus* nsp. from pinewood and histopathology of nematode-infested tree. Nematologica. 18:120-124.

14. Mamiya, Y. 1983. Pathology of the pine wilt disease caused by *Bursaphelenchus xylophilus*. Ann. Rev. Phytopathology. 21:201-220.

15. Nickle, W. R. 1970. A taxonomic review of the genera of the Aphelenchoidea (Fuchs, 1937) Thorne, 1949 (Nematoda: Tylenchida). J. Nematology 2:375-392.

16. Nickle, W.R., A. M. Golden, Y. Mamiya, and W. P. Wergin. 1981. On the taxonomy and morphology of the pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner. & Buhrer. 1934) Nickle. 1970. J. Nematology 13:385-392.

17. Odani, K., S. Sasaki, Y. Nishiyama, and N. Yamamoto. 1985. Early symptom development of the pine wilt disease by hydrolytic enzymes produced by the pine wood nematode-cellulase as a possible candidate of the pathogen. J. Jap. For. Soc. 67:366-372.

18. Oku, H., T.Shiraishi and S. Karozumi. 1979. Participation of toxin in wilting of pine caused by nematode. Naturwissenchaften 66:210.

19. Sasaki. K., and T. Furukoshii. 1976. The initial performance of interspecific hybrids, *Pinus thunbergii X P. massoniana.* and *P. tabulaeformis-* cone setting, seed quality, seedling growth and resistance for timer-nema. Trans. 87th. Ann. Meet. Jap. For. Soc. 18:183-184.

20. Shaheen, F., R. E. K. Winter, and R. I. Bolla. 1984. Phytotoxin production in *Bursaphelenchus xylophilus-* infected *Pinus sylvestris.* J. Nematology 16:57-61.

21. Steiner, G.,, and E. M. Buhrer. 1934. *Aphelenchoides xylophilus.* N. Sp. a nematode associated with blue-stain and other fungi in timber. J. Agric. Res. 48:949-951.

22. Sugawa, T. 1982. Occurence of traumatic resin canals and cytological changes of parenchyma cells in the stems of Japanese black pine wood nematode. J. Jap. For. Soc. 64:112-116.

23. Tamara, H., K. Mine, and T. Yamado. 1987. Blockage of water conduction in *Pinus thunbergii* inoculated with *Bursaphelenchus xylophilus,* Jpn. J. Nematolo. 17:23-30.

24. Tokushige, Y., and T. Kiyohara. 1969. *Bursaphelenchus* sp. in the wood of dead pine trees. J. Jan. For. Soc. 51:193-195.

25. Ueda, ., T. Oku, K. Tomita, K. Sato, and T. Shiraishi. 1984. Isolation, identification, and bioassay of toxic compounds from pine tree naturally infected by pine wood nematode. Ann. Phytopath. Soc. Jap. 50:166-175.

26. Wingfield, M. J., R. A. Blanchett, T. H. Nicholllas, and K. Robbins. 1982. The pine wood nematode: a comparison of the situation in the United States and Japan. Can. J. For Res. 12:71-75.
27. Wingfield, M. J. 1987. Fungi associated with pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*. and Cerambycid beetles in Wisconsin. Mycologia 79:325-328.
28. Winney, R. 1983. Preliminary observations on the pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* in Hong Kong. Hong Kong Agri. & Fish. Dept. Hong Kong.
29. Yano, M. 1913. Investigations on the cause of pine morality in Nagasaki Prefecture. Sanrin-Koho. 4:1-14.

六、討　　論

羅宗爵（亞洲農業技術服務中心）問：

松材線蟲爲害的最明顯病徵爲何？

曾顯雄（國立台灣大學）答：

松材線蟲萎凋病最明顯病徵爲：

1. 植株急速萎凋死亡。
2. 針葉短期內（2週～2個月）變成紅棕色。
3. 流脂停止（松脂管被堵塞），此徵狀在未呈現外在病徵以前即已發生。
4. 水分蒸散率降低。

程永雄（農業試驗所）問：

松材線蟲侵害松樹，能使植株在兩週內急速死亡，在病變過程中，是否有有毒物質的產生？

曾顯雄（國立台灣大學）答：

在日本、美國研究，由萎凋松樹萃取酚類衍生物，再以此類衍生物灌注松樹（二、三年生）亦可導致相似萎凋病病徵，故推論此衍生物可能和萎凋病有關，但有待更進一步證實。

林奕耀（國立中興大學）問：

在日本使用Terracur P，樹幹穿孔後，用小形滴管防治，如何改善？

曾顯雄（國立台灣大學）答：

日本目前在公園、庭院、寺廟及校園之貴重松樹，具景觀或紀念價值者推荐滅豬蟲（Morantel）來行灌注防治，每瓶滅豬蟲約700～1000ml 左右，若樹齡較高，林積較多時，則使用量也需酌量增加。

柑桔線蟲問題

林 奕 耀[1]

摘　　要　柑桔根部最早發現線蟲寄生的記錄，是在1889年，美國弗羅里達的根瘤線蟲，然該線蟲並未造成經濟上問題。目前爲止，自全世界柑桔栽培地區發現的植物寄生性線蟲逾200種，隸屬不同的22屬。惟只知其中的約20種對柑桔有害，其爲害部位均在根部，因地上部病徵無特殊症狀以致一般人很難將線蟲與柑桔產量與品質之經濟關係連想在一起。又除了柑桔線蟲（*Tylenchulus semipenetrans*）外，對其他柑桔病原線蟲，由於地理分佈的限制，通常僅局部地區分別採取防治措施。柑桔線蟲於1912年在美國加州即已發現與柑桔“慢性衰弱病（slow decline）”或”梢枯（die back）”有密切關連；而早在1930年代發生的“擴展性衰弱病（spreading decline）”爲弗州衆知嚴重影響柑桔生產的疾病，直至1953年始確定其病原爲穿孔線蟲（*Radopholus citrohilus*）。在衆多柑桔部寄生線蟲中，柑桔線蟲無疑爲全世界分佈最普遍，爲害柑桔最重要的一種病原線蟲。目前全世界的柑桔栽培面積約爲1,500萬公頃，每年生產約4,000萬公噸的橙類、葡萄類、檸檬、萊母和寬皮桔等，而據估計其中50％以上的柑桔生產區都感染柑桔線蟲。對此線蟲所引起之估計損失約10％，若換算爲果實的減產量則相當於400萬公噸。在台灣於1913年日人澤田兼吉首先發現柑桔線蟲爲害柑桔根部，而於1916年證實當時普遍發生的所謂“柑桔立枯病”即爲柑桔線蟲所致。除此之外，晚近發現南方根腐線蟲（*Pratylenchus coffeae*）爲嘉南地區的椪柑、柳橙和麻豆文旦枯死之主要病原之一。柑桔線蟲在國外已知至少有四種生物型（biotype），即：(1)“柑桔（citrus）”生物型，爲最普遍而可爲害柑

1　國立中興大學植物病理學系教授

桔類、橄欖（*Olea* spp.）、葡萄（*Vitis* spp.）和柿子（*Diospyros* spp.），但不爲害 *Poncirus trifoliate*；(2)“枳殼（Poncirus）”生物型，除橄欖外，可爲害所有上述各寄主，源自日本及加州；(3)“地中海（Mediterranean）”生物型，與“citrus”生物型相似，但不爲害橄欖，遍佈地中海和南非柑桔栽培區；(4)“草（grass）”生物型，不爲害柑桔，僅發生於美國弗州。依據筆者研究室三年來之田間調查與溫室內接種試驗結果，獲悉在台灣，柑桔線蟲的寄主範圍爲：葡萄柚（*Citrus paradis*），晚崙西亞橙（*Citrus sinensis*）、柳橙（*C. sinensis*）、金柑（*Fortunella crassifolia*）、檸檬（*Citrus limon*）、廣東檸檬（*C. limonin*）、酸桔（*C. reticulata* var. *sunki*）、枳殼（*Poncirus trifoliate*）、巨峯和金香葡萄（*Vitis vinifera*）、柿子（*Diospyros kaki*）、馬齒莧（*Portulaca oleracea*）、享利馬唐（*Digitaria henryi*）以及小葉灰藋（*Chenopodium ficifolium*）等。同時，依據其寄主反應，可分爲“Citrus”生物型和“Grape”生物型兩種。前者除巨峯葡萄和金香葡萄外，可爲害上述各種寄主；而後者則僅爲害葡萄、馬齒莧、享利馬唐和小葉藋而不爲害柑桔類和柿子。

一、前　　言

柑桔根部最早發現線蟲寄生的記錄，是在1889年，美國佛羅里達的根瘤線蟲，然該線蟲並未造成經濟上問題[21]。至目前爲止，自全世界柑桔栽培地區發現的植物寄生性線蟲逾200種，其中約20種對柑桔有害，其爲害部位均在根部，因地上部病徵並無特殊症狀以致一般人很難將線蟲與柑桔產量與品質之關係連想在一起[26]。

在本省柑桔栽培史上，線蟲病害之發生由來已久，早在1913年，日人澤田兼吉氏即已發現當時猖獗流於之“柑桔立枯病”與柑桔線蟲有關[5]，並經接種試驗而證實其病原性，進而做防治試驗[6]。第二次世界大戰後，於1963年，童氏發表有關台灣柑桔之寄生性線蟲調查，在台北、新竹、苗栗、台中及宜蘭等地柑桔園中發現爲害柑桔植株之6種植物寄生性線蟲，其中以柑桔線蟲（*Tylenchulus semipenetrans* Cobb）最爲重要[3]。

嗣後於1979年，林氏在麻豆文旦栽培區之調查中發現植物寄生性線蟲種類多達20種以上，其中以柑桔線蟲及南方根腐線蟲〔*Pratylenchus coffeae*（Zimmermann）Filipjev and Stekhoven〕出現頻率無論在根中或根圈土中均高達85％以上[2]。

自從1912年 Hodges 氏[25]在美國加州地區柑桔園首先發現柑桔線蟲而 Thomas 於翌年發表其可能與斑葉症狀有關[23]後，往後的兩年內，相繼在地中海馬爾他島、西班牙、以色列、澳洲及南美等地分別發現此蟲的存在[11]；有關此蟲在柑桔生育上所引起

的病變一直被全世界各柑桔生產國家多方面研究和探討其病原性，終獲得證明此線蟲引起的柑桔慢性衰弱症（Slow decline）對柑桔生產事業的威脅性甚大[7,8,14,20,24]。目前全世界的柑桔栽培面積約爲1,500萬公頃，每年生產約4,000萬公噸的橙類，葡萄柚、檸檬、萊姆和寬皮桔等，而據估計其中50%以上的柑桔產區都感染柑桔線蟲，而其所引起之估計損失約10%，若換算爲果實的減產量則相當於400萬公噸[26]。

二、柑桔線蟲之習性及生活史

柑桔線蟲的卵孵化即爲二齡幼蟲，在7～10天中脫皮三次而爲成熟雄蟲。雄蟲並不攝食，其口針、食道均退化，不爲害作物。雌性幼蟲能以二齡幼蟲期維持生命達數年之久，且無需取食。在寄主植物存在時，它便侵入根部最外層表皮，並完成三次脫皮。此蟲常侵害四～五星期大的營養根，將蟲體前半部插入根組織中吸取汁液，而體後半部則裸露根部外面，即行所謂半內寄生。成熟的雌蟲排卵於膠質中呈塊，幾乎將露在根外表的蟲體都掩蓋[16]。柑桔線蟲雌成蟲行孤雌生殖（parthenogenesis），未受精的雌成蟲排卵後孵化成雌雄兩性的幼蟲。在攝氏24～26度時，此蟲一世代約需6～8星期[12,27]。童氏報告[4]，本省的氣候適合此蟲的生存，全年皆可發現其生活世代中的每個齡蟲及卵塊，尤其於春雨後，柑桔新芽萌發的3月起，此蟲蟲口密度逐漸上升，至6月時達最高峯，12月至3月最低，和本省的雨量及溫度有關係。林氏[1,2]指出，此蟲之季節消長，年至少有2～3個高峯。

三、柑桔線蟲對寄主的影響

柑桔線蟲的取食以寄主根部皮層爲限，攝食位置一旦固定後，其蟲體頭部附近的寄主細胞則形成3～4層薄壁細胞組織，而頭部固著的細胞則發展呈腔狀，以利其變換方向取食[30]，此類細胞對染色反應不同，澱粉含量低；最後，上述這些細胞會崩潰，俟其他微生物順著線蟲侵入的路線侵入感染後，使被感染部位呈現黑褐色的壞疽[13]；嚴重者根系變黑，且因卵塊上包裹著粘着性的膠質，易於附着土壤顆粒，這些顆粒即使用水亦很難洗除；更嚴重被害者，常使根部皮層和中柱脫離，而致腐敗。寄主植物的根系受到侵害後，其水分、礦物鹽類的吸收和輸送能力大爲降低，地上部葉片則呈現缺乏微量元素及營養不良的症狀。因此，一般而言，被柑桔線蟲感染的柑桔病株，最顯而易見的地上部外觀病變就是枝葉稀疏、葉片黃化（chlorosis）、落葉、葉變小、落果、果實變小及新梢乾枯（die back）等現象[25]。1963年，Van Gundy 和 Tsao 氏等實驗指出，柑桔線蟲和 *Fusarium solani* 對柑桔生長的影響遠比其各自單獨存在時嚴重，惟在此相互關係中，柑桔線蟲的眞正作用則不甚明瞭[29]。

四、柑桔線蟲的生態

柑桔線蟲對寄主植物之病原性與其族羣密度有密切關係，而環境因素與此蟲的生長

及繁殖有很大的影響，最適合生長繁殖的土壤溫度爲攝氏28～31度[19]。土壤型態與線蟲生長無太大關係，最適宜於線蟲繁殖的土壤？含有粘土10～15％，粘質５～50％的土壤亦適宜其存活[30]。乾燥土壤較適於繁殖，潮濕時土壤內缺氧，線蟲不宜生存。土壤酸鹼度爲5.6～7.6％者，適於其繁殖[28]，灌溉水中若含有鹽類，則有助於族羣的建立。環境及柑桔的栽培管理會直接影響線蟲病原性的表現，故不能單以線蟲繁殖速率決定之[16]。由以上可知，柑桔線蟲對環境的適應能力很強，無怪乎其能遍佈全球的柑桔園造成嚴重的被害和損失。

五、柑桔線蟲的傳播及殘存能力

柑桔線蟲最主要的傳播途徑乃罹病苗木的搬運和移植，柑桔苗木移植時通常根部都包裹苗圃的土壤，因此，自感染柑桔線蟲苗圃購買苗木，此線蟲便得以蔓延。除此之外，人畜的脚蹄、柑桔栽培用具、田間灌溉水亦有助於該線蟲的傳播。又，因其抵抗惡劣環境的能力很强，譬如其二齡雌蟲貯存在攝氏10度，二年後仍有70％存活率[15]，若無寄主存在時，其可在土壤中生存達九年之久[19]；在攝氏45度的高溫處理下也可熬過數小時[17]。故它能在各種傳播過程中的不良環境仍安然無恙，此即說明其生命力之强，危害潛力之大和防治之不易。

六、柑桔線蟲的寄主範圍和生物型（biotype）

截至目前爲止，尚未發現有任何一個柑桔品種對柑桔線蟲具有免疫性。在國外，柑桔線蟲已知至少有四種生物型，即：(1)“柑桔（Citrus）”生物型，爲最普遍而可爲害柑桔類、橄欖（*Olea europaea* L.）、葡萄（*Vitis vinifera* L.）和柿子（*Diospyros kaki* L.），但不爲害枳殼〔*Poncirus trifoliata* (L.) Rafin.〕；(2)“枳殼（Poncirus）”生物型，除橄欖外，可爲害所有上述各寄主，源自日本及美國加州；(3)“地中海（Mediterranean）”生物型，與“Citrus”生物型相似，但不爲害橄欖，遍佈地中海和南非柑桔栽培區；(4)“草（Grass）”生物型，不爲害柑桔，僅發生於美國佛州[18]。依據筆者研究室三年來之田間調查與溫室接種試驗結果顯示，在台灣，柑桔線蟲的寄主範圍爲葡萄柚（*Citrus paradis* Macf.）、晚崙西亞橙〔*Citrus sinensis* (L.) Osbeck〕、柳橙（*Citrus sinensis* Osbeck）、金柑（*Fortunella crassifolia* Swingle）、檸檬（*Citrus limon* Burm.f.）、廣東檸檬（*Citrus limonin* Osbeck）、椪柑（*Citrus reticulata* Blanco）、酸桔（*Citrus reticulata* var. *sunki* Toung）、枳殼（*Poncirus trifoliata* Rafin）、巨峯和金香葡萄（*Vitis vinifera* L.）、柿子（*Diospyros kaki* L.）、馬齒莧（*Portulaca oleracea* L.）、亨利馬唐（*Digitaria henryi* Rendle）、小葉灰藋（*Chenopodium ficifolium* Smith）、柚子（*Citrus grandis* Osbeck）以及桶柑（*Citrus tankan* Hay.）等（表一）。同時，依據其寄主反應，可分爲“Citrus”生物型和“Grape”生物型兩種（表二）。前者除巨峯葡萄和金香葡萄外，可爲害上述各種寄主；而後者則僅爲害葡萄、馬齒莧、亨利馬唐和小葉灰藋而不爲害柑桔類和柿子。

表一、 柑桔線蟲在台灣各種寄主上的發生與分佈

Table 1. Occurrence and distribution of *Tylenchulus semipenetrans* on various host plants in Taiwan

Host plant 寄主植物	Samples infested/ Samples collected	Infection index*
Valencia orange 晚崙西亞橙 *Citrus sinensis* [Linn.] Osbeck	6/25	0.5
Shaddocks 柚子 *Citrus grandis* Osbeck	25/85	0.7
Grape fruit 葡萄柚 *Citrus paradis* Macf.	440/526	1.9
Ponkan 椪柑 *Citrus reticulata* Blanco	411/260	2.0
Sweet orange 柳橙 *Citrus sinensis* Osbeck	466/620	2.4
Kumquats 金柑 *Fortunella crassifolia* Swingle	28/105	0.8
Tan Kan 桶柑 *Citrus tankan* Hay	96/420	1.6
Lemon 檸檬 *Citrus limon* Burm. f.	100/207	2.5
Canton lemon 廣東檸檬 *Citrus limonin* Osbeck	463/472	2.7
Sunki 酸桔 *Citrus reticulata* var. *sunki* Toung	304/524	2.1
Trifoliate orange 枳殼 *Poncirus trifoliata* Rafin	60/175	0.2
Kyoho 巨峯葡萄 *Vitis vinifera* L.	86/348	1.4
Persimmon 柿子 *Diospyros kaki* L.	6/55	1.8
Common purslane 馬齒莧 *Protulaca oleracea* L.	17/130	0.7
Crabgrass 享利馬唐 *Digitaria henryi* Rendle	11/80	0.3

Host plant 寄主植物	Samples infested/ Samples collected	Infection index*
Goosefoot 小葉灰藋 *Chenopdium ficifolium* Smith	5/14	0.6

* Infection index: 0: none; 1:1—5 females/cm of root; 2: 6—10 females; 3: more than 10.

表二、 每公分根中柑桔線蟲雌成蟲之平均數

Table 2. Average number of adult female *Tylenchulus semipenetrans* per centimeter of root*

Differential host	Nematode biotype	
	Citrus	Grape
Grape fruit 葡萄柚 *Citrus paradis* Macf.	7.4	0.3
Valencia orange 晚崙西亞橙 *Citrus sinensis* [Linn.] Osbeck	2.8	0.0
Sweet orange 柳橙 *Citrus sinensis* Osbeck	6.3	0.1
Kumquats 金柑 *Fortunella crassifolia* Swingle	1.6	0.0
Lemon 檸檬 *Citrus limon* Burm. f.	5.8	0.0
Canton lemon 廣東檸檬 *Citrus limonin* Osbeck	407	0.0
Sunki 酸桔 *Citrus reticulata* var. *sunki* Toung	5.2	0.1
Trifoliate orange 枳殼 *Poncirus trifoliata* Rafin	0.7	0.0
Kyoho grape 巨峯葡萄 *Vitis vinifera* L.	0.0	3.2
Golden Muscat Grape 金香葡萄	0.0	3.7

Differential host	Nematode biotype	
	Citrus	Grape
Vitis vinifera L.		
Persimmon 柿子	1.1	0.0
Diospyros kaki L.		
Common Purslan 馬齒莧	0.4	0.2
Portulaca oleracea L.		
Crabqrass 享利馬唐	0.2	0.4
Digitaria henryi Rendle		
Goosefoot 小葉灰藋	0.3	0.5
Chenopodium ficifolium Smith		

* Greenhouse test

七、柑桔線蟲的防治方法

(一)預防處理

1. 選擇未感染柑桔線蟲之苗木予以栽培。
2. 設定柑桔線蟲污染區，澈底執行檢疫，避免自疫區携入感染源。

(二)殺線蟲劑處理

1. 植前處理：一般使用土壤燻蒸劑為主，目的在殺死土中的雄蟲、幼蟲及卵。經處理後的土地，對柑桔苗的生長有明顯的幫助，此方法一直認為有效且較經濟的。
2. 植後處理：目的在消滅土壤中游離生活的雄蟲和幼蟲，更主要的是殺死固著在營養根上直接為害的雌蟲。因此，施用的藥劑最好兼具系統性、無藥害且不影響植株生長，無殘留毒性或低毒性者為佳。

(三)栽培管理

多施有機肥料，有助於促進土壤中微生物的活動，增加土中線蟲的天敵，對降低線蟲密度和植株的生長有所俾益。

八、結論

柑桔線蟲所造成的被害度及損失要依其感染程度、柑桔株齡和感受度及環境影響因素等來決定。在美國加州柑桔園的 DBCP 防治試驗結果顯示，其平均增產率達27%（

討　　論

陳連勝（省農會）問：

穿孔線蟲是否爲害水生植物，如水草之根，荸薺、蓮藕及菱角等。

林奕雄（國立中興大學）答：

穿孔線蟲爲絕對寄生，雖然線蟲需水分，但完全泡在水裏將無法殘存，若以水草栽培作物，發現穿孔線蟲，應該是原來植物帶來的。

np. of Pl. Nem. Dis. Contr.: P 43～ P 60(19

線蟲之生物防治趨勢

曾 顯 雄[1]

摘　　要　少數種類之濾過性病毒、立克次氏體、細菌、眞菌、原生動物、水熊（Tarigrade）、扁蟲（Tubellarians）、跳蟲（C-ollembolla）、蟎類、Enchytraeids、以及同類之線蟲可以捕食或寄生於線蟲。此類天敵具生物防治潛能。在這些天敵中以一種線蟲卵寄生菌、*Paecilomyces lilacinus*，以及一種寄生性放射線菌，*Pasteuria penetrans* 最具開發之遠景。應用這兩種天敵於田間進行防治病原線蟲，效果頗佳。但有關 *P. lilacinus* 接種源之大量製備、儲存、施用、存活以及生態適應性等特性，皆有待探討。*P. penetrans* 雖具耐受惡劣生態條件，可抗拒殺線蟲劑，以及高感染率等優異特性，但目前仍無法人工培養，在此瓶頸突破之前商品化有其困難。

一、前　　言

線蟲爲植物四大病原之一，常可造成可觀之經濟損失。例如包囊線蟲（*Heterodera* spp.）、穿孔線蟲（*Rhadophorus* spp.）、根瘤線蟲（*Meloidogyne* spp.）、莖莖線蟲（*Ditylenchus* spp.）、松材線蟲（*Bursaphelenchus xylophilus*）對作物之爲害，所造成嚴重之經濟損失即是一些耳目能詳之例證（5）。化學藥劑援例被用以消除植物重要病原線蟲，原因無它，化學藥劑常可收到立竿見影之預期效果（5）。但由於化學藥劑之長期使用也造成了一些副作用，如破壞生態體系之平衡，造成次要病原之猖獗，藥劑殘留造成水源土壤之污染、人畜中毒、抗藥性品系之迅速產生，使推廣不久之藥劑，失去療效…等（15）。由於這些體驗，一物剋一物的生物防治法之理念應運而生。雖然生物防治法，無法收到迅速療效，或在接種源之製備或篩選，或其生態適應性、存活機制…等皆有待探討和解決，但在兩權相害取其輕之認知下，皆共同認識"生物防治"仍爲長

1. 國立台灣大學植物病蟲害學系教授

遠之計[5,8,11,12,16]。

線蟲在自然界之天敵爲數不少，這些天敵常可寄生或捕食線蟲而達到降低線蟲族羣之效果。如濾過性病毒、立克次氏體（Rickettsia）、細菌（圖1、2）、眞菌（圖3－11）、原生動物（Protozoa）、水熊（Tardigrade）、扁蟲（Turbellarians）、蟎類、跳蟲（Collembola），Enchytraids 以及同一族類之捕食性線蟲（圖12）（表一）。但在這些天敵中，除某些寄生性或捕食性之眞菌，以及一種寄生性之放射線菌 *Pasteuria penetrans*（圖13）而外，其餘瞭解甚少，更遑論在溫室或田間實際推廣應用以防治線蟲[11,15]。有鑑於此，本文將綜合評論最近幾年來，有關於嚐試應用線蟲殺生眞

表一：對植物病原線蟲拮抗之微生物一覽表。（摘自 Sayer，1980b）

Table 1. Partial list of microorganisms antagonistic to plant-parasitic nematodes

Kind of organism	Scientific name	Mode of antagonism
Bacteria	*Bacillus penetrans*	Spores of bacterium attach to larvae, penetrate, and convert contents of maturing female totally to new spores
Fungal predators of larvae	*Stylopage hadra*	Nematodes are captured by adhesive nonseptate hyphae
	Arthrobotrys oligospora	Species forms sticky network for capturing larvae; most common of trapping fungi
	Dactylaria candida	Species forms three-celled nonconstricting rings and adhesive knobs that ensnare larvae
	Dactylaria brochopaga	Species forms three-celled constricting rings that are triggered when larvae enter ring openings.
Fungal parasites of larval	*Catenaria sp.*	Chytridiomycete species are weakly parasitic on many nematodes species; zoospores attacking larvae are uniflagellate
	Myzocytium humicola	Oomycete species has sexual stages; biflagellate zoospores attach to larvae
	Meristacrum asterospermum	Zygomycete species produce conidia that attach to cuticle of larvae
	Harposporium anguillulae	Deuteromycete species produce conidia that are ingested by saprozoic nematodes and germinate in their gut

Kind of organism	Scientific name	Mode of antagonism
	Nematoctonus sp.	Basidiomycete species produces spores that attach to and penetrate hosts
Fungal parasites of eggs	*Verticillium chlamydosporium*	Species converts egg contents to hyphal mass
Fungal parasites of adults and cysts	*Dactylella oviparasitica*	Primarily fungal parasite of eggs but occasionally attacks mature female root-knot nematodes; associated with decline of root-knot populations on citrus
	Nematophthora gynophila	Fungus resting spores are found in mature *Heterodera avenae* cysts and have been associated with decline of nematode populations
Invertebrate predators on larvae and adults	*Mononchus* sp.	Genus of predatory nematodes that attack many species of plant-parasitic nematodes and other soil fauna
	Theratromyxa weberi	Amoeboid species that preys on larvae of many nematode species
	Adenoplea sp.	*T urbellarian species that preys on larvae and vermiform adult nematodes*
	Hypsibius sp.	*T ardigrade species ("water bears") that feed on nematodes and several other soil microorganisms*
	Onychiurus armatus	Collembola species that feeds on cysts

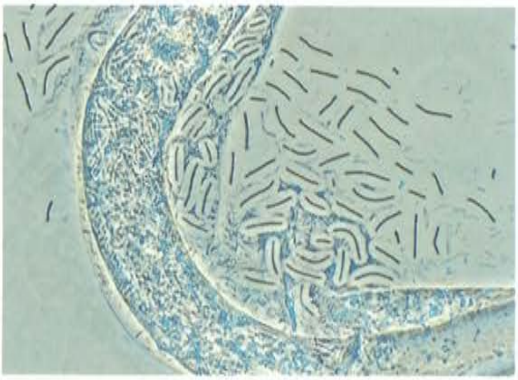


圖１－２　線蟲之寄生菌（可能為放射線菌）。

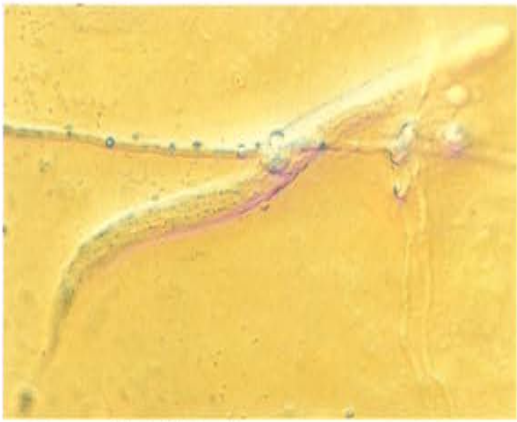


圖 3　線蟲捕捉菌 *Stylopage* 於菌絲上產生粘性芽捕捉線蟲 。

圖 4　線蟲捕捉菌 *Stylopage* 之孢子及其所捕獲之線蟲 。

圖 5　線蟲捕捉菌之捕捉網及其所捕捉之線蟲 。

圖 6　捕捉菌之粘著球，非收縮環及被捕獲之線蟲。菌絲已充滿線蟲之體腔。

圖 7　於自然條件下所產生之直立收縮環，以及一隻被捕獲之線蟲 。

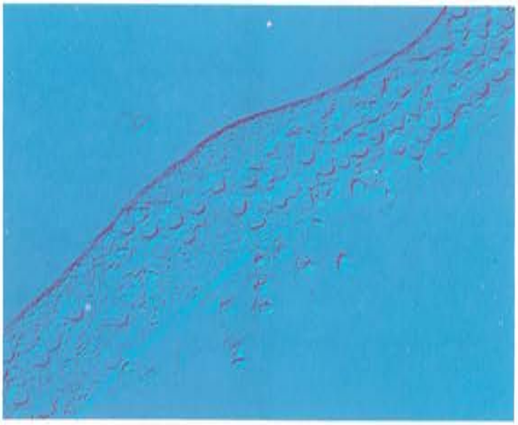


圖 8　一種卵菌 *Haptoglossa* 寄生於線蟲，以及其所產生之特化舌狀構造。

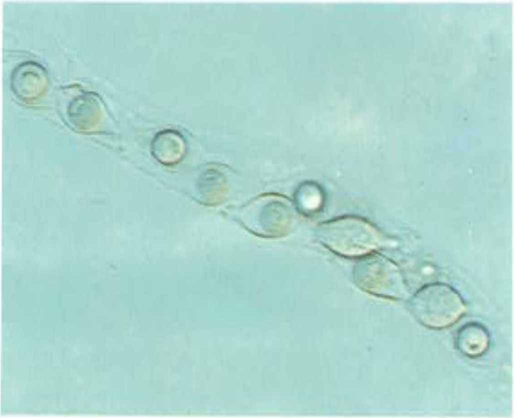


圖 9　寄生於線蟲之卵菌之游走子囊和休眠體。

圖10　寄生於線蟲之壺菌 *Catenarra* 。

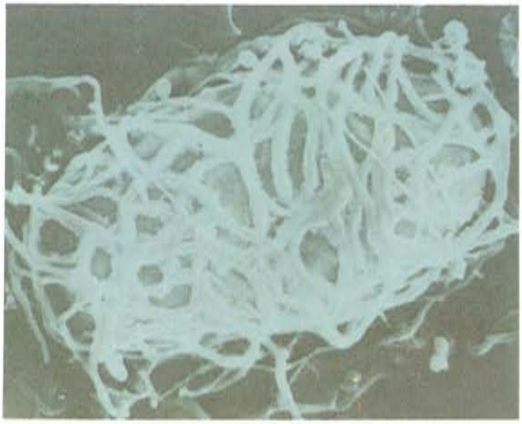


圖11　線蟲卵被眞菌寄生
(摘自Jatala, 1986)

圖11　線蟲卵被眞菌寄生
(摘自Jatala, 1986)

圖12　捕食性線蟲 *Seinura tenuicaudata* 以其口針穿入其它線蟲 *Aphelenchus avenae* 之體腔內取吸養分。(摘自 Sayre , 1979)

圖13　寄生於腐生性線蟲之 *Pasteuria penetrans* 。

菌（Nematode—destroying fungi）[3,4,9,10,11,12,13,15,19,22]，以及寄生性之放射線菌 *P. penetrans*[1,2,17,18,19,23]防治植物病原線蟲之一些田間試驗。此外，菌根菌，尤其是叢狀枝一囊狀體菌根菌（Vesicula—arbuscular mycorrhizal fungi, VAMF）常可與植物共生，强化植物之生理活性，增加其抵抗土壤傳染性病原之能力[8,16,21]。某些菌根菌甚至可以侵入寄主包囊線蟲之卵或母蟲，雖然其病原性並不很强[6]。這一方面也將於文中略加介紹。

二、線蟲殺生眞菌在防治線蟲上之應用

線蟲殺生菌之分類地位，寄生模式及感染致病過程

至目前爲止大約200種眞菌被報導可以寄生或捕捉線蟲，最後將其殺死[15,19]。這200種眞菌分別隸屬於壺菌、卵菌、結合菌、不完全菌、或較高等之擔子菌（表一）（圖3～10）。隨著菌類不同，其寄生模式、感染致病過程亦大異其趣[19]。或設置陷阱、或投擲飛鏢，結構巧妙，令人嘆爲觀止。如一種卵菌 *Haptoglossa heterospora*（圖8）之游走子囊可釋放具兩根鞭毛之游走子，此游走子在休眠時首先將鞭毛縮入體內，繼之，形態急劇轉換，產生側生之舌狀構造，此構造內具投擲穿刺之鏢狀系統，當受線蟲刺激時，即可定向瞬間投射，刺穿線蟲體壁，並同時送入小生子（Sporidia），小生子即可在線蟲體內生長發育而完成感染生活史（圖8）。壺狀菌之游走子則可直接游到線蟲之口腔，排泄孔、或泄殖口鄰近休眠、發芽、侵入、感染而完成生活史。屬於不完全菌線菌綱之 *Dactylaria brochopaga* 則可生精緻之收縮環（Constricting ring），當線蟲之頭部或體軀無意間穿過此環時，即可引發收縮環之三個細胞向內膨脹而將此線蟲套牢，然後再行侵入體軀內而將其器官組織破壞，並將養分吸收殆盡，最後只留下角質層。其它之線蟲捕捉菌或產生粘著網（圖5），或產生粘著球（圖6）及非收縮環（圖6），甚至在某些菌類如 *Stylopage* 更爲簡化，只在菌絲上產生捕足之粘著芽。有些菌類如 *Verticillium chlamdosporum*，*Dactylella oviparasitica*，*Paecilomyces lilacinus* 以及某些內生菌根菌則似乎偏好寄生線蟲之卵（圖11），於寄生之後期，整個胚胎全爲菌絲所取代。

線蟲殺生菌在防治上之實際運用

嚐試應用線蟲捕捉菌來防治病原線蟲，歷史久遠。1937年，Linford 氏於美國夏威夷即曾以線蟲捕捉菌去防治鳳梨根瘤線蟲[15]。其後，英國之 Duddington 於1956年也作過類似之生物防治試驗，但對象爲馬鈴薯黃金線蟲 *Globodera rostochiensis*[15]。但兩者所得之結果時好時壞，缺乏可重複性。法國 Coyrol 等人，於1978－1979年間篩選出捕捉能力較强，生長速率較佳之線蟲捕捉菌 *Arthrobotrys robusta*，製成商品化之眞菌性殺蟲劑 Royal 300® 及 Royal 350®，前者用以防治洋菇線蟲 *Ditylenchus myceliophagous*，後者用以防治蕃茄根瘤線蟲（*Meloidogyne* spp.）。Royal 300® 據報導可以減少洋菇線蟲族羣40%，增加洋菇產量20%，但 Royal 350®，在根瘤線蟲爲害嚴重時

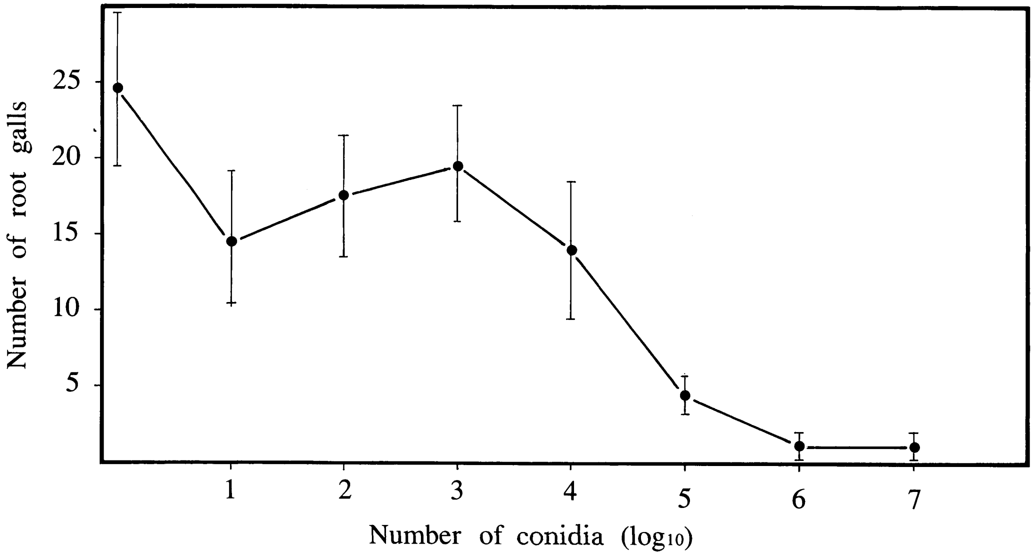


圖１４：*Meria coniospora* 不同孢子濃度對已接種 *Meloidogyne javanica* 5000個卵的蕃茄產生根瘤情形之影響，每一點表示10個重覆的平均值，垂直線段代表標準誤差。（摘自 Jansson，1985）

表二：土壤中加入被 *Meria coniospora* 感染之腐生性線蟲 *Panagrellus redivivus*，對蕃茄因 *Melodogyne javanica* 感染結瘤情形之影響，並與殺線蟲劑 Aldicarb 施用結果相比較。共有10個重覆數。（摘自 Jansson，1985）

Table 2. *Meloidogyne javanica* galling of tomato as affected by *Meria coniospora* added to soil via infected *Panagrellus redivivus* compared with application of aldicarb, replicated 10 times.*.

Treatment	Number of *M. coniospora* infected *P. redivivus*	Galls per root system
M. coniospora + *P. redivivus*	10	18.8±3.0
	100	5.2±2.1**
	1,000	2.7±1.2**
Aldicarb (15 g a.i./ 250 cm^3 soil)	0	0.7±0.2**
Nontreated	0	21.6±4.1

＊每盆栽接種 *M. javanica* 5000個卵

＋數值以平均值±標準誤差表示

＊＊在１％顯著水準下，和對照組間有差異者

〔註〕每處理之誤差均予以計算。所得數據以變方分析統計。

，則只推薦先施用化學殺蟲劑之後再施用 (11) 。有關 Royal 350®，在防治線蟲之效果仍有待更進一步去評估。最近幾種內部寄生菌，其在防治線蟲之潛能也陸續有過探討。如在溫室塡加線蟲內部寄生菌（*Meria coniospora*）之孢子或被 *M. coniospora* 所感染之腐生性線蟲 *Panagrellus redivivus* 於感染根瘤線蟲，*M. incognita* 之盆栽蕃茄，當所塡加孢子之濃度在10^{5-7}／mℓ（圖14），或100－1000隻被 *M. coniospora* 感染過之 *P. redivivus*（表二），則可顯著降低根瘤數，其所收到之防治效果和施用殺線蟲劑 Aldicard 相彷彿 (9) 。但有關田間之防治試驗則尙付闕如。另一方面卵寄生菌 *Paecilomyes lilacinus*，被應用以防治柑桔駝形線蟲 *Tylenchulus semipenetrans*，以及多種作物之根瘤線蟲，所收成效甚佳。施用 *P. lilacinus* 可以降低線蟲數目，並提高柑桔之品質，其效果甚至超越殺線蟲劑 Temic，V-10（圖15）。在馬鈴薯方面，*P. lilacinus* 感染根瘤線

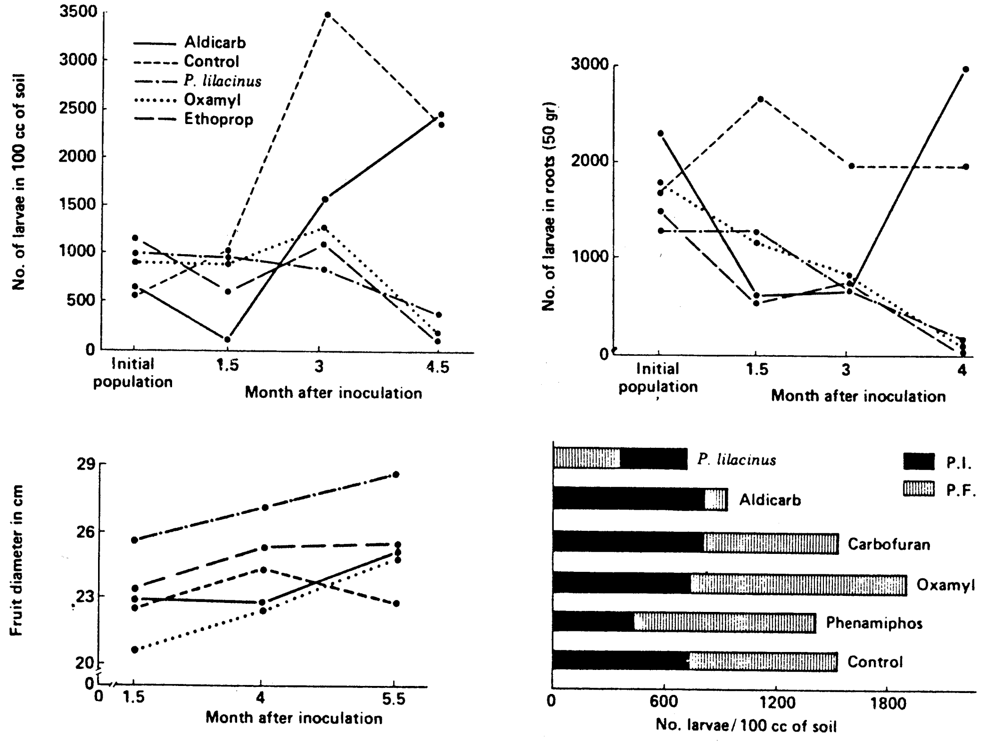


圖15：*Paecilomyces lilacinus* 和一些殺線蟲劑對柑桔線蟲 *Tylenchulus semipenetrans* 族羣變化之影響。左上方：土壤中線蟲數；右上方：根內線蟲數；左下方：果粒直徑；右下方：檸檬植株根圈周遭土壤中之幼蟲數。（摘自 Jatala，1986）

蟲 *M. incognica* 卵之寄生率可高達86%，並顯著減少根瘤數（表三），而且商品價值之塊莖量也顯著增加（表四）。爲評估此菌於世界不同地區之推廣可行性，更經由根瘤線蟲國際計劃（International Meloidogyne Project , IPM）研究組織之協助，於大約60個國家進行田間防治試驗，其中部分國家也獲得類似之效果[10，11]。菲律賓之 Davide 氏應用此菌製成殺蟲劑，登記爲 Biocon 於市場公開銷售[3]。類似此類之生物防治似方興未艾，所獲致之成果是否經得起考驗，仍有待觀察。

表三：不同處理對 *Meloidogne incognita* 感染馬鈴薯（'Cuzco 品系）之影響（摘自 Jatala , 1985）

Effect of different treatments on the reaction of potato cv. " Cuzco" to *Meloidogyne incognita.* (Courtesy of Jatnta, 1985)

Treatment	Average root galling index[a]	% egg mass infection	% eggs destroyed
Paecilomyces lilacinus	2. 93	86. 0	54. 7
Temik 10% G (25 kg/ha)	3. 36	0	0
Nemacur 5% G (50 kg/ha)	3. 44	0	0
Furadan 5% G (50kg/ha)	3. 57	0	0
Organic matter (10 ton/ha)	3. 62	0	0
Control	3. 60	0	0
LSD 0. 01	0. 19		
0. 05	0. 14		

a　120個觀察樣本，1 ＝無根瘤產生至5 ＝根瘤發生極爲嚴重

表四：*Paecilomyces lilacinus* 和藥劑 Temik 之田間應用對 *Meloidogyne incognita* 之影響（處理於馬鈴薯田）。（摘自 Jatala , 1985）

Effect of field application of *Paecilomyces lilacinus* and Temik on *Meloidogyne incognita :* Effect on yield of potato. (Courtesy of Jatafa, 1985)

Treatment	Kg total yield/ 400 m^2 plot	Kg infested tuber yieid/400 m^2 plot	Kg non-fnfested tuber yied/400 m^2 plot
Control	814. 61	691. 92	122. 69
P. lilacinus	721. 63	419. 04	302. 59
Temik 10 % G(25kg/ha)	656. 88	509. 76	147. 12
LSD 0. 05	104. 62	27. 60	85. 10
0. 01	139. 32	36. 72	113. 28

三、叢狀枝—囊狀體內生菌根菌對線蟲之拮抗作用

結合菌綱、內生菌目（Endogonales），內生菌科（Endogonaceae）內所涵括之許多屬、如 *Glomus* , *Gigaspora* , *Sclerocystis* 等常可感染農藝、園藝、或森林作物之根系，形成共生構造，稱爲菌根。菌根有許多有益效應，其中之一，即爲增加植物對土壤病原之抵抗能力。在苜蓿（alfalfa）不管是抗病或感病品種，經 *G. fasciculatum* 接種菌根以後，其抵抗北方根瘤線蟲 *M. hapla* 感染及阻礙其發育之能力大爲增加，並減低蟲口數（圖16）。此抗病能力之增加，推測和植物寄主生理改變或對水分吸收之能力增加有關[8]。在其它，根瘤線蟲－植物寄主－內生菌三者間相互作用之研究亦獲得類似之結果[21]。雖然眞正之機制尙不清楚，但可能和根分泌物質之改變，改變了線蟲之趨性，或在構造上之改變如線圈狀菌絲，囊狀體或叢狀枝之形成阻礙侵入，亦可能生理之改變而影響線蟲之正常發育及繁殖[21]。*G. fasciculatum* 除和病原競爭養分或生存空間外，亦可直接侵入大豆包囊線蟲 *H. glycine* 之包囊，進而侵入包囊內之卵，雖然此寄生率並不很高，只占１％而已。*G. fasciculatum* 雖可抑制大豆包囊線蟲第一代雌蟲族羣，但此壓抑效果並無法延續到第二代。故考慮應用此菌於生物防治似不可行[6]。

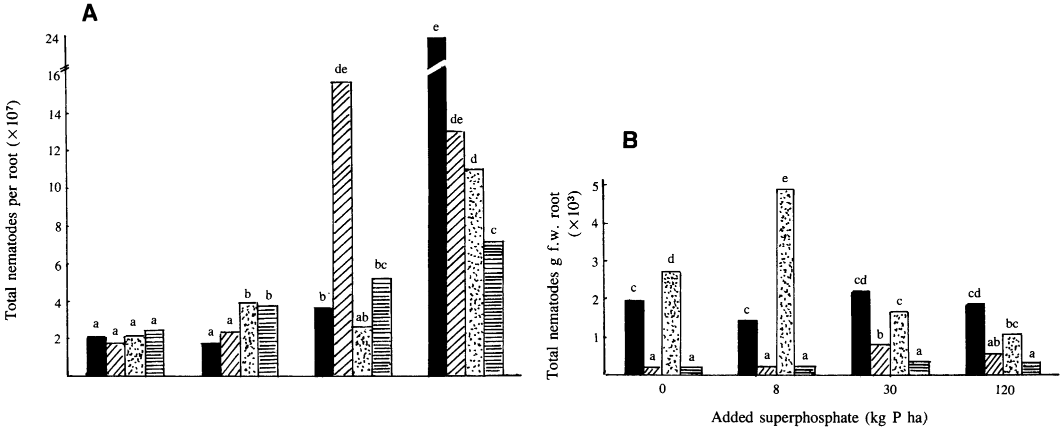


圖16　線蟲感病性植物紫花苜蓿（alfalfa），於單獨接種菌根菌或同時接種菌根菌和線蟲12週後被線蟲感染之程度。菌根菌於移植時加入。接種時間(a)：線蟲於移植時加入；接種時間(b)：線蟲於移植 4 週後加入。(A)每根系統之總線蟲數（幼蟲和成蟲）(B)根每克濕重所含總線蟲數（幼蟲和成蟲）。經變方分析和平方根轉換後，每條狀圖其相同字母者表彼此差異不顯著（ P＜0.05 ），■線蟲(a)(3)；▨菌根菌－線蟲(a)(4)；▩線蟲(b)(5)；▤菌根菌＋線蟲(b)(6)。（摘自 Grandison & Cooper , 1983 ）

四、寄生性放射線菌 *Pasteuria penetrans* 在防治線蟲之應用

許多植物病原線蟲常被發現為一種微生物所寄生（圖13、17）。這種寄生性之微生物於1940年首先被 Thorne 命名為 *Duboscquia penetrans* 認為它是屬於微孢子類之原生動物[20]。但經由形態、構造、生活史之詳盡探討，Mankau 認為它並非是原生動物

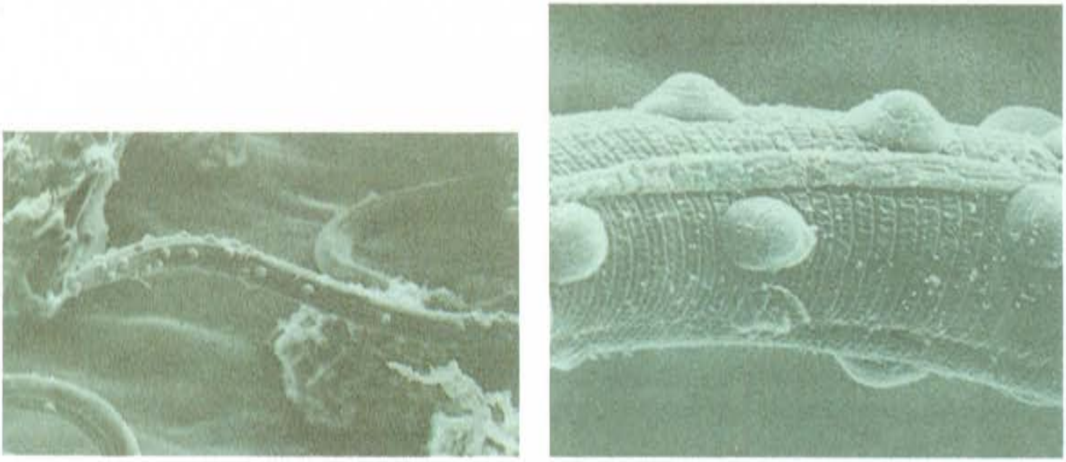


圖17　掃描電子顯微觀察 *Meloidogyne incognita* 幼蟲的表皮黏附著 *Bacillus penetrans* 的孢子，此寄生菌繼續生長，穿過表皮而侵入線蟲體內。（摘自 Wergin & Sayre；摘自 Dropkin 1980）

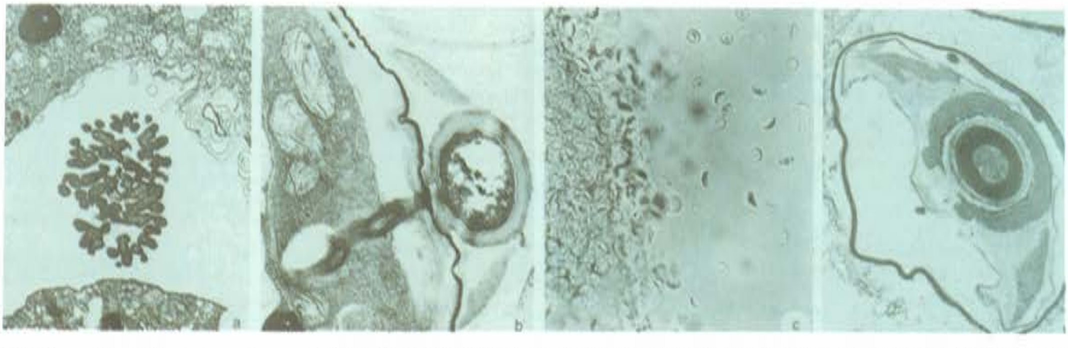


圖18　*Bacillus penetrans* 的生活期(A)細菌於正發育母線蟲假體腔內無性生長的微小菌落(B)孢子發芽產生侵入釘，穿透根瘤線蟲的表皮和皮下組織(C)大量的細菌孢子自感染破裂的線蟲母體流出(D)成熟的孢子囊，具有孢囊壁和極薄的外壁包圍著孢子。（摘自 Sayer，1980b）

。*D. penetrans*爲原核性，又具產生內生孢子之特徵，因而，分類地位被歸屬於桿菌屬，故更改其學名爲 *Bacillus penetans*(14)。但事實上這種菌類可產生絲狀體之構造，在生活史又和寄生於水蚤類之一種放射線菌 *Pasteuria ramosa* 極其類似，故應再更置於 *Pasteuria* 應殆無疑義，因此 Sayer 和 Starr (1985) 仍將此菌正名爲 *P. penetrans*(20)。

P. penetrans 之寄生模式、感染致病過程及寄主專一性

散生於土壤中之 *Pasteuria penetrans* 之孢子囊孢子在接觸到具親和性的線蟲時，即可粘附於線蟲體表（圖13、17），經過休止期（Latent peroid）（一般 4 － 8 天），孢子即可發芽，產生侵入釘，貫穿線蟲體表、肌肉，再進入體腔（圖18），於體腔內發芽成微小菌落（圖18）。此微小菌落由一中心往外輻射之許多連續雙叉狀分枝構成（圖18）。成熟時此刀叉狀分枝可轉化，斷生成四極體、二極體、最後斷生而成單極體，即所

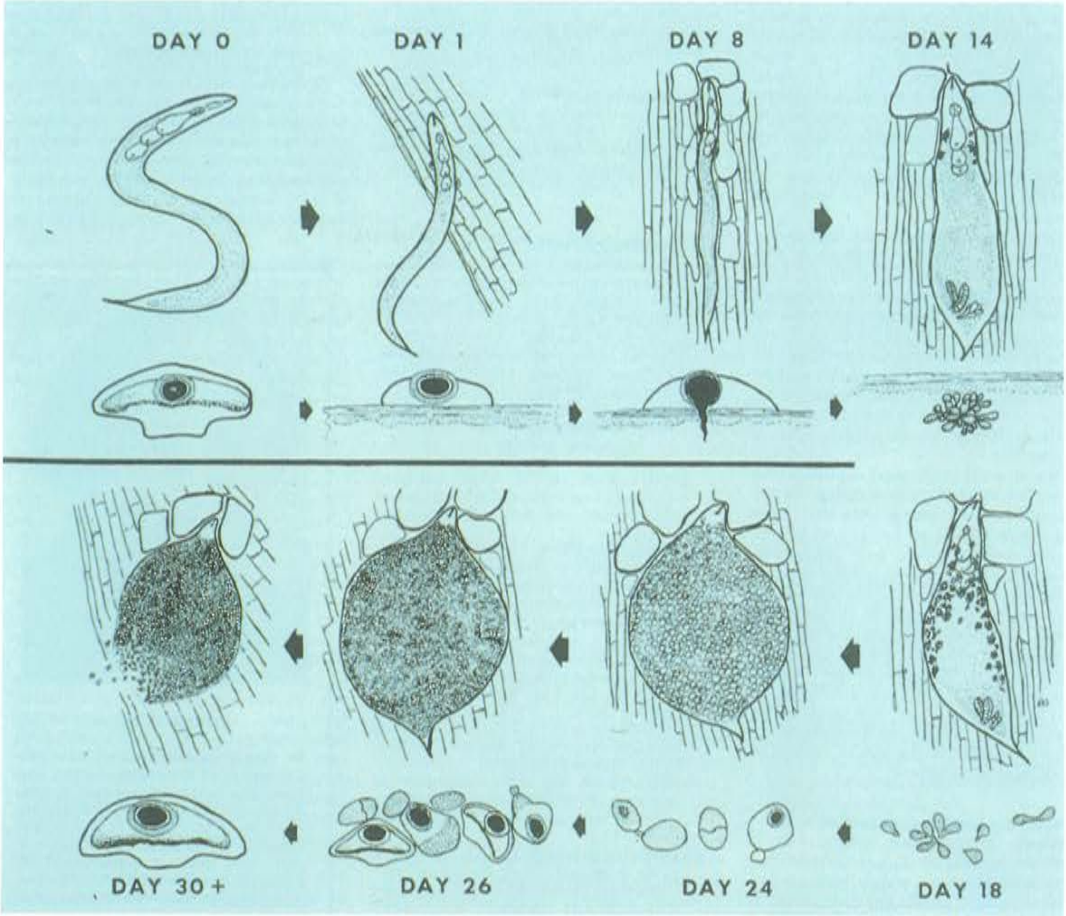


圖19　根瘤線蟲和*Bacillus penetrans*之生活史。於線蟲各發育期之圖示下方爲相對*B. penetrans*生活期之放大。（摘自Sayer, 1980b）

謂孢子囊及孢子囊孢子（圖19）。一般一隻被 *P. penetrans* 所寄生之根瘤線蟲母蟲（圖18、19）可產生200萬個孢子囊孢子(17，18，19)。若就侵染根瘤線蟲而言，孢子之發芽侵入，感染根瘤線蟲不同階段之進展和根瘤線蟲侵入感染植物之根系，取食發育而成成蟲皆息息相關，而有所謂同步化（Syncronization）這種說法（圖19）。故 *P. penetrans* 可以顯著壓抑根瘤線蟲母蟲之產卵。*P. penetrans* 之孢子厚壁，極耐乾燥、高溫和殺線蟲劑(18)，此一特性即構成爲生物性殺線蟲劑之極其有利條件。*P. penetrans* 亦呈現一定程度之寄主專一性，如由 *Pratylenchus brachyurus* 所收集到之 *P. penetrans* 就只能寄生 *P. brachyurus* 而不能感染其它之線蟲。由根瘤線蟲 *M. incognita* 所分得之 *P. pentrans* 也只能感染十種根瘤線蟲中之兩種(18)。由台灣所收集到之 *P. penetrans*（圖13），嚐試接種松材線蟲 *B. xylophilus*，也無法成功（曾，1987年未發表之觀察）。

P. penetrans 之田間實際應用

Stirling（1984）所設計之試驗方法（圖20）可以很清楚地證明根瘤線蟲被 *P. penetrans* 之感染率和土壤中存活之孢子濃度成正比（表五），並且也和根瘤線蟲於土壤中之泳動距離成正比（圖20）（表五）。一般感染蕃茄之根瘤線蟲在根圈平均要游動75公分方可達到取食點，但是一般只泳動 4 公分時便足以被 *P. penetrans* 所感染。故 *P. peretrans* 亦可降低根瘤線蟲第二齡幼蟲之感染能力。Stirling（1984）於二個不同地點進行生物防治試驗，顯示塡加適量之 *P. penetrans* 便可以顯著地降低根瘤線蟲之蟲口數和根瘤指數。在其中一處，蕃茄之地上產量也顯著增加（表六）。塡加 *P. penetrans* 所得之防治效果並不遜於殺蟲劑 Fenamiphos（表六）。其它在菸草、豌豆、大豆之田間試驗也證實 *P. peretrans* 可降低 *M. incognita* 之病原性，減少受根瘤線蟲感染之損失在

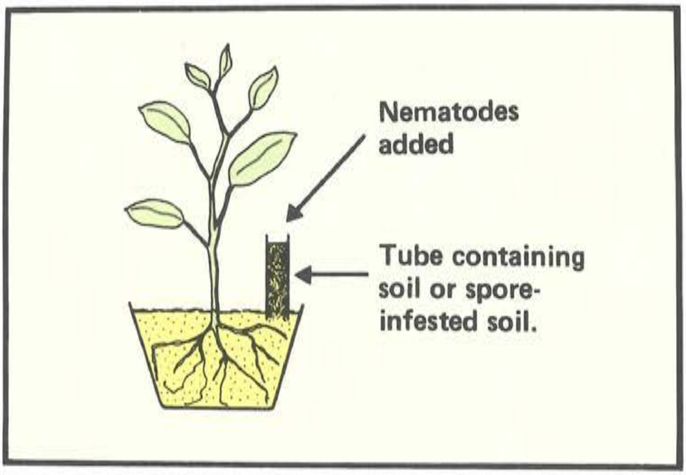


圖20　用來探討線蟲移動，孢子濃度和發病之間關係的方法。（摘自 Stirling，1984）

23～50%之間[1,2]。在蕃茄、菸草、胡椒、大豆，豌豆田，若同時施用 *P. pentrans* 和卵寄生菌 *P. lilacinus* 則可以顯著減少根瘤線蟲蟲口數、卵囊數、卵之孵化率，以及增加植物之地上部之乾重量（表七）。 *P. penetrans* 和 *P. lilacinus* 同時施用，和 *P. penetrans* 或 *P. lilacinus* 單獨施用不同處理，所得之結果差異並不顯著（表七）[4]。綜觀上述 *P. penetrans* 是一具相當潛力之生物防治劑，頗具開發價值，但目前尚無法以人工方法培養，大增接種源之製備有其困難，此瓶頸有待克服[19,23]。

表五：土壤中 *Bacillus penetrans* 對 *Meloidogyne javanica* 感染蕃茄之影響。（摘自 *Stirling, 1984* Infectivity of *Melodogyne javanica* to tomato in soll containing *Bacillus penetrans* (Coutesy of *Stiring*, 1984)

B. penetrans (mg/kg soil)	Females per root system[4]	Healthy females per root system[3]	Females infected（%）
0	573(6.34)	573(6.43)	0
100	340(5.77)	127(4.76)	63
200	227(5.40)	44(3.75)	81
400	206(5.28)	19(2.84)	91
LSD (P = 0.05)	(0.30)	(0.41)	

*Numbers in parentheses transformed : log (no. nematodes + 1)

表六：於兩處理區應用 *Bacillus penetrans* 和殺線蟲劑 fenamiphos 對蕃茄產量及地上部生長，根瘤指數，*Meloidogyne* 族羣之影響。（摘自 Stirling , 1984 ）
Effect of *Bacillus penetrans* and nematocide fenamiphos on top growth and yield of tomato, root-knot index, and populations of *Meloidogyne*, at two field sites (Courtesy of Stirling, 1984)

	Dry Wt. tops(g)	Fruit Wt. (kg/plant)	Root-knot index	*Meloidogyne* juveniles/200g soil[a]	
Site 1					
Dried roots + B. penetrans (106mg/kg)	179	1.6	2.5	891	(6.22)
(212mg/kg)	157	1.3	1.4	257	(4.77)
(424mg/kg)	157	1.3	0.5	144	(4.41)
Dried roots (424mg/kg)	113	0.9	4.8	1.231	(6.24)
Untreated control	88	0.9	4.9	1.091	(6.54)
LSD (p <0.05)	56	n.s.	***[b]		(1.37)

	Dry Wt. tops(g)	Fruit Wt. (kg/plant)	Root-knot index	*Meloidogyne* juveniles/200g soil[a]	
Site 2					
Dried roots+B. penetrans (300mg/kg)	240	6.3	2.8	422	(5.84)
(600mg/kg)	194	6.2	1.6	748	(5.52)
Fenamiphos(wk0)	247	7.7	3.4	2.307	(7.11)
(wk0.4.8)	222	6.4	1.0	177	(4.77)
Dried roots(300mg/kg)	167	3.3	5.0	5.504	(8.57)
(600mg/kg)	188	5.3	5.0	4.168	(8.57)
Untreated control	141	3.8	5.0	4.313	(7.77)
LSD (P =0.05)	n.s.	n.s.	＊＊[b]		(1.33)

a.括弧內數值爲 loge（線蟲數＋1）

b.根據 Friedman's test 比較差異是否顯著（＊＊，P＝0.01；＊＊＊，P＝0.001）

表七：*Paecilomyces lilacinus*和 *Pasteuria penetrans*對根瘤指數，卵塊總數，*Meloidogyne incognita* 卵孵化率及煙草 *Nicotiana tabacum* NC2326地上部重量之影響。（摘自Dube和 Smart,1987）

Effect of Pascilomyces and Pastsuria penetrans on root gall index, mass count, and egg hatch of *Meloidogyne incognita*, and top weights of tobacco, *Nicotiana tabacum* NC 2326, (Courtesy of Dube & Smart, 1987)

Treatmant	RGI†	EMC‡	%egg hatch	Fresh top weight (g)
1. *M. incognita* + *P. lila in s*	1.5 a	12 a	44 a	188 c
2. *M. incognita* + *P. penetrans*	2.0 a	13 a	65 b	131 b
3. *M. incognita* + *P. lilacinus* + *P.penetrans*	1.5 a	10 a	44 a	172 c
4. *M. incognita only*	4.8 b	29 b	78 c	35 a
5. *P. lilacinus only*	1.0 a			187 c
6. *P. penetrans only*	1.0 a			189 c
7. *P. penetrans*+ *P. lilacinus*	1.0 a			187 c
8. Untreated control	1.0 a			188 c

數值爲二次實驗平均值

依據 Waller—Duncan K— ratio t—test 統計方法分析。同一列中平均值後之字母相同者，表差異不顯著

＋根瘤指數（1 ＝無根瘤，2 ＝25％，3 ＝50％，4＝51－75％，5 ＝超過75％根結瘤）

＋每0.5 g 根重所含卵塊總數

五、結　論

利用生物方法來防治各種病原，包括線蟲在內，是未來病害管理的必然趨勢。在許多天敵中，線蟲之眞菌性卵寄生菌 *P. lilacinus* 以及放射線菌寄生菌 *P. penetrans*，由田間之防治試驗得知是兩種最具潛力之生物防治劑。但 *P. penetrans* 到目前爲止仍爲絕對寄生菌，無法以人工培養，此困難必須加以解決，然後才可能大量生產，商品化以供應用。故如何更進一步去了解 *P. penetrans* 之生物學特性如孢子發芽之機制等應爲當務之急。此外此菌具專一性，故對生理小種或其它類似種之找尋探討亦頗具學術研究價值。至於卵寄生菌 *P. lilacinus* 有關此菌接種源之製備、儲存、存活、感染率、田間效應評估…等皆應進一步研究，提供正確之訊息。在另一方面拮抗微生物之抗生作用 (Antibiosis)[7，11]，或填加有機質，如 Chitin，來改變土壤微生物相及其活力，間接達到抑制線蟲族羣之目的。這方面研究所得之訊息應可提供合成殘毒較小之新殺線蟲劑。

在英國燕麥多年單作，則罹患包囊線蟲 *Heterodera avenae* 之爲害有逐年下降之趨勢[13]。研究試驗間接顯示係由於此類線蟲之眞菌性天敵，如 *Verticillium chlamydosporum, Nematophthora gyrophila* 或 *Catenaria auxiliaris* 寄生感染所發揮之自然平衡作用[12，13]。日本多年單作之大豆遭受包囊線蟲 *H. glycines* 之感染率也有自然下降之類似情形。但此罹病率之下降由多年分析證據顯示和 *P. penetrans* 寄生有關（Nishizawa，1988，5th ICPP 演講論文）。在自然界，天敵和生態條件調和時，即可發揮平衡效果。故如何去了解自然，模仿自然，然後加以應用，或許是線蟲生物防治成功與否之關鍵所在。

六、參考文獻

1. Brown, S. M., and B. C. Smart, Jr. 1985. Root penetration by *Meloidognye incongita* juveniles infected with *Bacillus penetrans*. J. Nematology. 17:123-126.
2. Brown, S. M., J. L. Kepner, and G. C. Smart, Jr. 1985. Increased crop yields following application of *Bacillus penetrans* to field plots infested with *Meloidogyne incognita*. Soil Biol. Biochem. 17:483-485.
3. Davide, R. D. 1988. Biocon controls nematodes biologically. Biotechology 5:772.
4. Dube, B., and G. C. Smart, Jr. 1987. Biological control of *Meloidogyne incognita*

by *Paecilomyces lilacinus* and *Pasteuria penetrans*. J. *Nematology*. 19:222-227.

5. Dropkin, V. H. 1980. Introduction to Plant Pathology. John Wiley & Jons Inc. New York. 293 PP.
6. Francl, L. J., and V. H. Dropkin. 1985. *Glomus fasciculatum,* a weak pathogen of *Heterodera glycines*. J. Nematology 17:470-475.
7. Garabedian, S., and S. D. Van Gundy. 1983. Use of avermectins for the control of *Meloidogyne incognita* on tomtoes. J. Nematology 15:507-511.
8. Grandison, G. S., and K. M. Cooper. 1986. Interaction of vesicular-arbuscular mycorrhizae and cultivars of alfalfa susceptible and resistant to *Meloidogyne halpa*. J. Nematology 18:141-149.
9. Jansson, H. B., A. Jeyaprakash, and B. M. Euckerman. 1985. Control of root-knot nematodes on tomato by the endoparasitic fungus *Meria coniospora*. J. Nematology 17:327-329.
10. Jatala, J. 1985. Biological control of nematodes. In advanced Treatise on *Meloidogyne*. Vol. 1. (J. N. Sasser & C. C. Carter ed.), PP. 303-308. North Carolina University & U.S.F.I.D. Publication. 422 PP.
11. Jatala, J. 1986. Biological control of plant parasitic nematodes. Ann. Rev. Phytopathol. 24:453-489.
12. Kerry, B. 1980. Biocontrol: fungal parasite of female cyst nematodes. J. Nematology 12:253-259.
13. Kerry, B. 1981. Fungal parasites: a weapon against cyst nematodes. Plant Dis. 65:391-393.
14. Mankau, R. 1975. *Bacillus* n. comb. causing a virulent disease of plant-parasitic nematodes. J. Invert. Path. 26:333-339.
15. Mankau, R. 1980. Biological control of nematode pests by natural enemics. Ann. Rev. Phytopathol. 18:415-40.
16. Sayre, R. M. 1971. Biotic influences in soil environment. In Plant parasitic nematodes. Vol. 1. (B. M. Euckerman, W. F. Mai, R. A. Rohde ed.) PP. 235-66. Academic Press New York. 345 PP.
17. Sayre, R. M., and W. P. Wergin, 1977. Bacterial parasite of a plant nematode: morphology and ultrastructure. J. Bacteriology 129:1091-1101.
18. Sayre, R. M. 1980a. Biocontrol: *Bacillus penetrans* and related parasites of nematodes. J. Nematology 12:260-269.
19. Sayre, R. M. 1980b. Promising organisms for biocontrol of nematodes. Plant Dis. 64:527-532.
20. Sayre, R. M., and M. P. Starr, 1985. *Pasteuria penetrans*.(ex Thorne, 1940) non.

rev. comb. m., sp. *n.,* a mycelial and endospore-forming bacterium parasitic in plant-parastic nematodes. Proc. Hemlmith. Soc. Washington 52:149-165.

21. Smith, G. S., R. S. Hussey, and R. W. Roncadori. 1986. Penetration and postinfection development of *Meloidognye incognita* cotton as affected by *Glomus intraradices* and phosphorus. J. Nematology 18:429-435.
22. Stirling, G. R., M. V. Mckenry, and R. Mankau. 1979. Biological control of root-knot nematodes (*Meloidogyne spp.*) on peach. Phytopathology 69:806-809.
23. Stirling, G. R. 1984. Biological control of *Meloidogyne javanica* with *Bacillus penetrans*. Phytopathology 74:55-60.

七 討　論

林奕耀（國立中興大學）問：

Bacillus penetrans 即屬放射狀菌，是否可人工培養？

曾顯雄（國立台灣大學）答：

Bacillus penetrans 目前學名已改爲 *Pasteuria penetrans*,因爲能產生絲狀菌絲。此菌能產生內生孢子，而內生孢子只在粘上活的線蟲時才能發芽侵入。在人工培養基 *P. penetrans* 無法發芽，故目前尚無法以人工培養，但似可以活的線蟲作少量繁殖。

線蟲病害防治研討會專集：P 61～P 70 (1989)
Symp. of Pl. Nem. Dis. Contr.: P 61～P 70 (1989)

線蟲與其他病原之複合感染

程永雄[1)] 杜金池[2)]

摘　要 作物寄生性線蟲和其他病原微生物所引起之作物複合病害，近年來漸受重視。自1982年Atkinson首次發表，根瘤線蟲與Fusarium所引起棉花萎凋之複合病害以來，有許多學者報導，線蟲與眞菌性萎凋、線蟲與眞菌性根腐、線蟲與細菌性萎凋之複合病，及線蟲與毒素病之關係。然而，多偏重於根瘤線蟲羣（Meloidogyne spp.）在引起複合病害所扮演之角色，根瘤線蟲比其他類線蟲更易發現是構成複合病害之一組成份子。係因根瘤線蟲常在寄主根部形成易察覺之腫瘤、根部形態之改變及寄生植物生理之變化，而更引起學者之注意。某些寄生性線蟲和其他土壤傳播性病原混合感染時，常較其個別感染更易引起作物病害且嚴重。至於線蟲造成作物更易感受其他病原侵染之機制，已經證實是線蟲之侵染而提供其他病原侵入的孔道，且腫大的根部較正常的根部對眞菌之侵害更具有感受性。感染根瘤線蟲之植株發現許多生化上的改變，諸如free amino acid之增加，植物生長素，核酸及去氧核糖核酸及核糖核酸等之變化，而引起學者探討並假設這些變化與其他病原之複合感染有關連。在自然界土壤中，本存在一羣複雜的微生物相，土壤是爲線蟲、眞菌、細菌及其微生物的最佳培育場所，因此這些土中微生物都可能是構成作物根系複合病害之組成分子，寄生性線蟲是證實引起作物複合病害之一份子，並扮演着重要角色，因此線蟲之防除，是防治作物複合病害發生之一有效措施。

1. 台灣省農業試驗所前植病系主任，現任嘉義分所分所長
2. 台灣省農業試驗所所長

前　　言

自1982年 Atkinson 氏首次報導，棉花萎凋病（Fusarium wilt disease）因根瘤線蟲（Root-knot nematode）之存在，而使病勢更嚴重[5]以來，線蟲和其他病原微生物間之關係始受到重視。在1920年代，歐洲的學者發現植物病原線蟲除了直接爲害植物外，亦可媒介其他病原微生物[27]。到了1950年代，學者們進一步發現線蟲亦可與其他病原微生物引起植株病害之複合感染（Disease complex）。因其對農業發展具經濟重要性，所以線蟲與其他病原微生物相互關係之研究相當活躍，最近三十年來，這方面的研究報告相當多[18，22，26，29，31，32，34]。已知與線蟲有密切關係之土壤病原微生物以眞菌最多，病毒次之，而以細菌最少[2]。所有被證實的線蟲及其他病原體之組合，莫不顯示線蟲在病原生態上扮演重要而有趣的角色。就植物病原線蟲之進化過程及生態看來，它和土壤環境的關係非常密切，所有植物寄生性線蟲在生活史中都有一段土壤期，在自然界土壤中，存在一羣複雜的微生物相，植物根圈（Rhizosphere）之微生物相更複雜，因此線蟲與土壤中的微生物息息相關，這些土中微生物都可能是構成作物根系複合病害之組成分子，寄生性線蟲已證實是引起作物複合病害之一分子，並扮演著重要角色，因此線蟲之防除，是防治作物複合病害發生之一有效措施。

一、植物寄生性線蟲在眞菌性病害中扮演之角色

A.線蟲與眞菌萎凋病之關係：

眞菌與線蟲共同引起的「併發症」（Disease complex）相當多，許多報告指出線蟲常加速眞菌萎凋病之發生，尤以根瘤線蟲最爲普遍。Atkinson 氏，1892年首次報告根瘤線蟲之感染加重棉花萎凋病（Fusarium wilt disease）之嚴重性[5]。此後，更多學者投入此研究，發現許多作物亦有此現象，其中以番茄和棉花之複合感染尤爲重要[29]。育種學家更積極培育抗線蟲及抗萎凋病之植株。1951年 Thomason, Erwin 和 Garber 等氏報告由 *Fusarium oxysporium* var. *tracheiphilum* 引起之豇豆（Cowpea）萎凋病，因 *Meloidogyne incognita* 之感染，病勢更猖獗，若以殺線蟲劑作土壤燻蒸處理，則降低萎凋病之發生[36]。Powell 氏1963年，指出以土壤燻蒸處理和輪作制度，可以間接防治棉花和番茄萎凋病[29]。Harrison 和 Young 氏發現若以抗根瘤線蟲之花生和易感病之豇豆輪作，則萎凋病顯著降低[13]。又 Jenkins, Coursen 和 Hutchinson 等氏以不同根瘤線蟲（*Meloidogyne* spp.）種類，測試番茄萎凋病之複合關係，結果發現，不同種類、數量之線蟲對不同番茄品系，有不同程度之複合病害發生[9，17]。Martin, Newson 和 Jones 等氏以人工接種法處理種植在蒸氣消毒土（steam-sterilized soil）之棉花，分別單獨接種不同種類之線蟲、萎凋病菌及線蟲、眞菌混合接種，結果發現，所有處理線蟲密度均增加，但惟接種 *Meloidogyne incognita acrita* 和 *M. incognita* 者顯著加速萎凋病菌之繁殖，*Trichodorus*, *Tylenchornchus*, *Helicotylenchus* 等線

蟲對萎凋病菌無加强作用[19]，可知不同種類之線蟲族羣對萎凋病有不同程度之影響。又 Verticillium wilt 是一典型之維管束萎凋病，早期研究報告顯示，根腐線蟲（*Pratylenchus* spp.）加重茄科植物、胡椒科植物、薄荷、棉花等之 Verticillium wilt fungi 之致病性。Bazan 等氏報告根瘤線蟲增加棉花 Verticillium wilt fungi 之感染勢[6]。又 *Pratylenchus penetrans* 可媒介及助長茄子萎凋病原菌 *Verticillium albo-atrum* 之入侵及發病。Mckeen 和 Mountain 二氏報導 *Verticillium dahliae* 及根腐線蟲（*Pratylenchus penetrans*）共同引起茄科植物的萎凋病[20]。另外 Graham 氏研究 *M. incognita acrita*, *Pratylenchus brachyurus*, *Rotylenchus brachyurus* 和 *Tylenchorhynchus claytoni* 等線蟲和菸草黑脚病菌（*Phytophthora parasitica* var. *nicotianae*）之相互關係，發現只有 *M. incognita acrita* 助長此病原菌之繁殖，使病害發生更猖獗[12]。Tisdale 氏亦觀察發現因根瘤線蟲之存在而破壞某些菸草品系對黑脚病（Black shank disease）之抗病性[37]。Nusbaum 和 Chaplin 二氏利用土壤燻蒸處理線蟲，大大減輕黑脚病之發生[23]。程氏1985年進行溫室盆栽接種試驗，探討根瘤線蟲 *Meloidogyne incognita* 與 *Phytophthora melonis* 在胡瓜黃化萎凋病株上所扮演之角色，結果顯示，造成胡瓜黃化萎凋的主因爲 *P. melonis*，而根瘤線蟲早期於根部形成的傷口將更有利於 *P. melonis* 的侵入[14]。由上可知，線蟲在眞菌萎凋病著實扮演重要之角色。

B.線蟲與眞菌根腐病之關係：

潛移性植物寄生性線蟲和根腐病原眞菌往往有密切之關係，一個最典型例子爲，*Rhizoctonia solani* 引起小麥根腐病，和根腐線蟲（*Pratylenchus minyus*）有複合感染現象。Benedict 和 Mountain 二氏在田間實驗中，接種此二病原微生物，以Ethylene dibromide 防治線蟲，Malachite green 防治眞菌，Methyl bromide 防治此二病原微生物，探討此二病原在複合病害中扮演之角色，結果發現，以 Methyl bromide 防治處理者之小麥產量增加 2 倍[7]；由此可知，此二病原之複合感染加劇根腐病之發生。另外檸檬由 *Fusarium* spp. 引起之根腐敗（Root-decay）和柑桔線蟲 *Tylenchulus semi-penetrans* 有相互關係，柑桔線蟲加速檸檬根部之腐敗，其嚴重程度和 *Fusarium* spp. 種類、環境溫度有關[24]。此外，世界上有名之穿孔線蟲（Burrowing nematode-*Radopholus similis*）和香蕉根腐病亦有複合感染現象。其造成根部上之穿孔，利於其他腐生型或寄生型之弱病原性微生物侵染，而致香蕉根部腐爛，造成複合感染。土壤中之弱病原性或腐生性微生物，可能因線蟲之存在，構成對作物生長之威脅。

C.線蟲和苗期眞菌病害之關係：

不同種類之線蟲對不同眞菌造成之苗期病害，因線蟲—寄生間反應程度有差異。如 *M. arenaria*, *M. hapla*, *M. incognita*, *Rotylenchus reniformis* 及 *Hoplolaimus tylenchiformis* 等線蟲對棉花苗期腰折病（Damping off-*Rhizoctonia solani*）引起之罹病性有差異，均可促進腰折病之發生，但以 *M. incognita* 及 *M. hapla* 兩種感染性最强。Taylor 和 Wyllie 二氏亦發現 *M. javanica* 和 *M. hapla* 增加大豆腰折病之發生[35]。

植物寄生性線蟲在眞菌性病害中著實扮演重要之角色，其致病之本質何在？Miller氏認爲線蟲在土傳播性病害中，因病害之不同而有不同之影響。病原線蟲在複合病害中扮演之角色可歸納爲下列三點：(1)媒介其他病原體。(2)造成寄主植物傷口，予其他病原微生物侵入之處。(3)引起寄主植物內部組織之生裡、生化上之變化，有助其他病原微生物之侵入及繁殖。Powell 和 Nusbanm 兩氏發現；線蟲在植物體上侵染之部位，眞菌更易侵入感染、繁殖(30)，此乃顯示線蟲造成寄主植物組織生理上之改變，而利於眞菌之生存與發展；線蟲族羣密度亦因眞菌之併發感染而顯著提高。

二、線蟲在細菌病害中扮演之角色

A.線蟲和細菌萎凋病之關係：

最早記錄爲1901年，Hunger 氏首次發現番茄青枯病（*Pseudomonas solanacearum*）在有線蟲感染土中發病較嚴重(16)。之後，線蟲和細菌萎凋病關係始受重視。在溫室接種番茄試驗中發現，*M. hapla, Helicotylenchus nannus*（Spiral nematode）有增加萎凋病之病勢。又菸草在含有 *M. incognita* 之病土中存活 3 ～ 4 星期後，再接種青枯病菌，則萎凋病徵較嚴重，有提早死亡現象(18)。很多外寄生性線蟲有助長青枯病菌感染之趨勢，如莖線蟲 *Ditylenchus dipsaci* 和苜宿（Alfalfa）細菌萎凋病原菌 *Corynebacterium insidiosum* 有複合感染情形，Hawn 在溫室實驗中已證明二者之相互關係，莖線蟲在移動時，携帶此病原細菌，而加重病害之蔓延，萎凋病徵發展更快速。

B.線蟲和根部細菌病害之關係：

許多棲息於土壤中的細菌，可能在適合之環境下，成爲感染植物根部之重要病原菌。玫瑰髮根病（Hairy root-*Agrobacterium rhizogenes*），通常對作物並不構成威脅，但在1963年，南加州（Southern California）玫瑰園中，因根腐線蟲（*Pratylenchus vulnus*）之存在，髮根病大肆猖獗，根部腫瘤增加，繼而根系腐敗，致玫瑰大量減產，損失慘重(21)。又桃樹癌腫病（Crown gall-*Agrobacterium tumefaciens* 引起）如果土壤中存有高密度之 *M. javanica* 則癌腫更爲嚴重(22)。

線蟲和細菌簇葉病之關係：

草莓的所謂「花椰菜病」（Cauliflower disease）是一個由葉芽線蟲（*Aphelenchoides ritzemabosi*）及細菌（*Corynebacterium faciens*）共同引起的典型「併發症」，Pitcher 和 Crosse 兩氏發現線蟲單獨接種時，草莓的新葉變得極少且缺乏葉片（Alaminate leaves），中肋的新葉壽命很短，長出不久後即行脫落而暴露病株的生長點。相反的，細菌單獨引起的病徵，是心芽肥腫並爲簇生葉片所包圍（Leaf gall）。當細菌和線蟲同時爲害，則病徵顯得更爲嚴重。病株分化多量側芽，而且因爲所有的新葉都只有肥腫的肉質中肋，不帶葉片，因此病株酷似花椰菜，故有「花椰菜病」之名(28)。

在線蟲和細菌複合感染關係中，因線蟲侵害所造成之機械傷口，利於某些病原細菌

侵入寄主組織，而導致病勢更爲嚴重。

三、線蟲和毒素病之關係

自從1958年，美國人 Hewitt 等人經嚴格的接種試驗，首次發現葡萄扇葉毒素病（Grapvine fan-leaf disease）是由劍線蟲（*Xiphinema index*）所傳播後[15]，許多以前找不到媒介昆蟲而又可經由土壤傳播的毒素病，就得到了解答。很多重要毒素病已證實爲線蟲所傳播，如寄主極廣的 Tobacco ringspot virus 及 Tobacco rattle virus 均是。可以說線蟲在傳播植物毒素病上扮演了一個重要角色。

1975年國際毒素病命名委員會（ICTV）正式通過，Nepoviruses 和 Tobraviruses 爲線蟲所傳播之植物病毒[11]。Nepoviruses 爲球形多面體病毒，由 *Xiphinema*, *Longidorus* 所傳播，Tobraviruses 爲桿狀病毒由 *Trichodorus* 所傳播，此三屬線蟲，均存活於根圈土壤，營根外寄生，破壞根系，造成不同病徵。線蟲傳播之毒素病害，目前僅見於歐洲、北美洲及日本等先進國家，但在世界其他地區亦應有廣泛存在，據黃氏等1972年之調查，台灣地區此三屬潛移性外寄生性線蟲於多種作物均有發現[3]，其是否爲毒素病之重要媒介則有待吾人進一步去探討。

媒介線蟲在病株部取食時，毒素即粘附在其攝食器官上藉以傳播至健全植株，其獲毒及傳毒時間可在15分鐘內完成，蟲體蛻皮後即失去感染力，不能經卵傳播，病毒在媒介線蟲體內並無潛伏期，其傳播關係僅是一種粘附釋放之過程，不牽涉到病毒之增殖。惟媒介線蟲一旦獲毒後，其續毒性可長達一年以上，故釋放之過程可能極爲爲緩慢。

欲防治作物之土壤傳播毒素病，必須了解「線蟲—病毒—寄主植物」之整個生活環，從其最弱處著手，才能達防治之效，其防治策略可歸納爲三：1. 栽培抗病品種：Harrison 氏謂對土壤傳播之毒素病害，以對病毒或對媒介線蟲具免疫性之品種栽種者最具效果[14]。2. 消除感染源：田間清潔、輪作、休耕等方式除滅感染源及減少線蟲蟲口數，減少感染源即可減少發病率[31]。3. 消除媒介線蟲：田間清潔、輪作及避免在樹籬邊栽種感病植物或耕除時勿使感病處之土壤分散全園，可減少媒介線蟲之密度及其分布[31]。土壤燻蒸劑之施用，因在深部之土壤藥效無法發揮，很難達到完全消除媒介線蟲之目的，但仍可大大減低蟲口數[31]。

結　　論

Fawcett 氏在1931年報導大自然並不是一純培養（Pure culture）之環境，其認爲大部分植物病害之發生（尤其是根部病害），可能牽涉兩種或兩種以上微生物之共同作用[10]。在自然界土壤中，本存有一羣複雜之微生物相，土壤是線蟲、眞菌、細菌、病毒及其他微生物之最佳培育場所，栽培之作物和這些能量競爭者若保持平衡，則維繫自然界之平衡，一旦某一類病原繁殖過量時或病原微生物間發生複合感染時，則疾病發生，破壞作物之生長發育。植物寄生性線蟲已證明是作物複合病害之重要組成分子，其

引起複合感染之機制亦已被了解。通常引起複合病害之線蟲多偏重於根瘤線蟲羣（*Meloidogyne* spp.），係因根瘤線蟲常在寄主根部形成易覺察之腫瘤，其巨型細胞（giant cell）維持在高代謝活性下，改變寄主根部之微細構造，生理、生化亦發生改變；如巨型細胞中含高濃度之有機磷、無機磷，影響蛋白質之合成，游離氨基酸（Free amino acid）增加100～700%，DNA 和 RNA 增加71～88%，植物生長素亦改變[25, 38]。又在根部腫瘤之根圈土壤微生物相亦發生變化，通常根部腫瘤附近之放射線菌（Actinomycetes）數目顯著減少，而萎凋病菌（*Fusarium* spp.）之族羣則大量繁殖，導致致作物病勢更嚴重；若在土壤中添加含幾丁質之添加物（Chitin amendment）則放射細菌數目增加，降低二次感染源—萎凋病菌之侵染[8]。由上可知，線蟲於複合感染中著實扮演重要角色，因此線蟲之防除，是防治作物複合病害之一有效途徑。

最近幾年來，複合病害之發生，一直被熱烈討論，但至目前爲止，尚無法估計出田間之發生率，且還有一些複雜之案例未被證實，技術上之問題亦有待突破。現今，植物病理學及線蟲學界已利用：化學防治（Chemical control）、育種技術（Breeding technology）、複合關係（Complex interaction）、綜合管理（Integrated pest management）、模式化（Modelling）和現代化遺傳工程（Currently genetic engineering）和分子生物學（molecular biology）等新技術來探討作物病害問題，具有實質之貢獻[33]。複合病害之研究亦朝此方向發展，仍需集更多學者之智慧來追踪、徹查線蟲和其他病原微生物間相互之關係及對作物造成損失之情形。1984年，在第一次國際線蟲研討會（The First International Congress of Nematology）中討論“線蟲和其他病原在作物上之影響”，建議下列九點有關複合病害（Complex disease）研究之技術及方向[32]。

1. 可疑之複合病害之發生，應由田間觀察著手；病原菌和罹病植物亦應列入考慮因素中。
2. 田間複合病害之發生，線蟲應首先被考慮。
3. 疾病發展過程中，生物和環境因素，應作系統分析或概要之測定，以爲參考。
4. 田間病害發生時，環境因子應觀察是否利於作物之生長或在複合病害中所扮演角色。
5. 溫室或田間混合接種二種或二種以上之病原微生物時，其接種濃度宜事先作合理之決定。
6. 接種時期之選擇，應根據病害在田間之發展情形和病原菌之生態。
7. 實驗設計宜依統計方法，以多變域設計（Multifactorial design）作定性、定量之描述和分析。
8. 記錄實際複合感染之關係，所用之術語，應依統計後之結果定論。
9. 若複合病害發生時，病原微生物和作物間之相互關係，應作病勢發展之連續追踪與記錄。

引用文獻

1. 黃炤雄　1973。病原線蟲如何爲害植物。科學發展月刊1(2)：20—27。
2. 黃炤雄　1974。植物病原線蟲與土壤微生物因子。生物與環境專題研究會講稿集 pp.118～131。
3. 黃炤雄、蔡雲鵬、林奕耀、杜金池、黃修斌　1972。臺灣植物寄生線蟲。中研院植物研究所專刊1。pp.61。
4. 程永雄　1985。根瘤線蟲與 *Phytophthora melonis* 之複合感染對胡瓜黃化萎凋之影響。台南區農業改良場研究彙報第19號：39～46。
5. Atkinson, G.F. 1892. Some diseases of cotton. Alabama Polytech. Inst. Agr. Expt. Sta. Bull. No. 41:61-65.
6. Bazan De Segura, C., and F.P. Aguilar. 1955. Nematodes and root rot diseases of Peruvian cotton. Plant Disease Reptr. 39:12.
7. Benedict, W.G., and W.B. Mountain. 1956. Studies on the etiology of a root rot of winter wheat in southwestern Ontario. Can. J. Botany 34:159-174.
8. Bergeson, G.B , S.D. Van Gundy., and I. J. Thomason. 1970. Effect of *Meloidogyne javanica* on rhizosphere microflora and Fusarium wilt of tomato. Phytopathology 60:1245-1249.
9. Binder, E., and M.T. Hutchinson. 1959. Further studies concerning the effect of root-knot nematode *Meloidogyne incognita acrita* on the susceptibility of the Chesapeake tomato to Fusarium wilt. Plant Disease Reptr. 43:972-978.
10. Fawcett, H.S. 1931. The importance of investigations on the effects of known mixtures of organisms. Phytopathology 21:545-550.
11. Fenner, F. 1976. The classification and nomenclature of viruses. Virology 71:371-378.
12. Graham, T.W. 1958. Root knot and other nematodes in relation to the development of tobacco blank shank. (Abstr.) Phytopathology 48:343.
13. Harrison, A.L., and P.A. Young. 1941. Effect of root-knot nematode on tomato wilt. Phytopathology 31:749-752.
14. Harrison, B.D. 1960. The biology of soil-borne plant viruses. Adv. Virus Research 7:131-161.
15. Hewitt, W.B., D.J. Raski, and A.C. Coheen. 1958. Nematode vector of soil-borne fanleaf viruses of grapevines. Phytopathology 48:586-595.
16. Hunger, F.W.T. 1901. Een bacterie-ziekte den tomaat. S. Lands Plantentuin, Meded. 48:4-57.

17. Jenkins, W.R., and B.W. Coursen. 1957. The effect of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita acrita* and *M. hapla*, on Fusarium wilt of tomato. Plant Disease Reptr. 41:182-186.
18. Johnson, H.A., and N.T. Powell. 1969. Influence of root knot nematodes on bacterial wilt development in flue-cured tobacco. Phytopathology 59:486-491.
19. Martin, W.T., L.O. Newsom, and J.E. Jones. 1956. Relationship of nematodes to the development of Fusarium wilt in cotton. Phytopathology 46:285-289.
20. Mckeen, C.D. and W.B. Mountain. 1960. Synergism between *Pratylenchus penetrans* (Cobb) and *Verticillium albo-atrum* R. and B. in eggplant wilt. Can. J. Botany 38:789-794.
21. Munnecke, D.E., P.A. Chandler, and M.P. Star. 1963. Hairy root (*Agrobacterium rhizogenes*) of field roses. Phytopathology 53:788-799.
22. Nigh, E.L., Jr. 1966. Incidence of crown gall infection in peach as affected by the Javenese root knot nematode. Phytopathology 56:150.
23. Nusbaum, C.J., and J.F. Chaplain. 1952. Reduction of the incidence of black shank in resistant tobacco varieties by soil fumigation. (Abstr.) Phytopathology 42:15.
24. O'Bannon, J.H., C.R. Leather, and H.W. Reynolds. 1967. Interactions of *Tylenchulus semipenetrans* and *Fusarium* species on Rough Lemon (Citrus limon). Phytopathology 57:414-417.
25. Owens, R.G., and H.N. Specht. 1966. Biochemical alterations induced in host tissues by root-knot nematodes. Contrib. Boyce Thompson Inst. Plant Res. 3:181-198.
26. Pitcher, R.S. 1963. Role of plant -arasitic nematodes in bacterial diseases. Phytopathology 53:35-39.
27. Pitcher, R.S. 1965. Helminth. Abstr. 34:1
28. Pitcler, R.S., and J.E. Crosse. 1958. Studies in the relationship of eelworms and bacteria to certain plant disease. II. Further analysis of the strawberry cauliflower disease complex. Nematologica 3:244-256.
29. Powell, N.T. 1963. The role of plant-parasitic nematodes in fungus diseases. Phytopathology 53:28-35.
30. Powell, N.T., and C.J. Nusbaum. 1960. The black shank-root-knot complex in flue-cured tobacco. Phytopathology 50:899-906.
31. Raski, D.J. and Wm. B. Hewitt. 1963. Plant-parasitic nematodes as vectors of plant viruses. Phytopthology 53:39-47.
32. Sikora, R.A. 1984. Nematode-plant interactions as influenced by associated microorganisms. First International Congress of Nematology, Guelph, Canada, 5-10

August 1984.

33. Sikora, R.A., and W.W. Carter. 1987. Nematode interactions with fungal and bacterial plant pathogens—Fact or Fantasy. PP. 307-312. in J.A. Veech, and D.W. Dickson, eds. Vista on nematology: A commemoration of the twenty-fifth anniversary of the society of nematolists. Society of Nematologists, Inc. Hyattsrille, Marylard Press.
34. Taylor, C.E. 1971. In ''Plant parasitic nematodes II''. (B.M. Iuckerman, W.F. Mai and R.A. Rohde, ed.) PP. 185-207. Academic Press, New York and Condon.
35. Taylor, D.P., and T.D. Wyllie. 1959. Interelationship of root knot nematode and *Rhizoctonia solani* on soybean emergen. (Abstr.) Phytopathology 49:552.
36. Thomason, I.J., D.C. Erwin, and M.J. Garber. 1959. The relationship of the root-knot nematode, *Meloidogyne jaranica,* to Fusarium wilt in cowpea. Phytopathology 49:602-606.
37. Tisdale, W.B. 1931. Development of strains of cigar wrapper tobacco resistant to black shank (*Phytophthora nicotianae* Breda de Haan). Univ. Florida Agr. Expt. Sta. Bull. 226-45 P.
38. Viglierchio, D.R., and P.K. Yu. 1968. Plant growth substances and plant parasitic nematodes. II. Host influen on auxin content. Expl. Parasitol. 23:88-95.

謝　　辭

本文承省農業試驗所植病系王貴美小姐協助整理資料，得以順利完稿，謹致謝忱。

線蟲與作物根系保全

蔡東纂[1]

摘　　要　植物病原線蟲對寄主根部的寄生方式雖分爲內寄生、外寄生及半內寄生等三種，但最終的結果都導致根系遭破壞；寄主植物吸收水份、養份及微量元素的能力大爲降低；地上部出現微量元素缺乏症狀、生育不良，甚或死亡。有的更直接造成作物塊莖或塊根等產物受侵害，喪失商品價值。爲了防止農產品因爲植物寄生性線蟲的爲害所造成的損失，在耕作上必須有線蟲管理(nematode management)策略。所謂「線蟲管理」，吾人定義之爲維持植物病原線蟲族羣在不引起作物經濟損失範圍內之方法。降低線蟲密度、減少線蟲的爲害、達到根系保全的目的，是提高農作物產量及品質的必備條件，其方法可歸納爲化學方法及非化學方法兩種[7,12]，茲分述如下：

一、化學藥劑管理法(Chemical management)[9]：

殺線蟲劑種類甚多，劑型各異；但大致上可分爲二大類：

A.燻蒸性殺線蟲劑[13](fumigant nematicides)：

此劑施用在土壤中後，即行氣體擴散，發揮燻蒸效果。此類藥劑一般除殺土壤線蟲外，尚可滅除土壤昆蟲、雜草種子、土壤微生物(如眞菌、細菌、原生動物及藻類等)。但因其氣體對作物同樣有接觸毒殺作用，故僅適宜植前做土壤消毒。土壤燻蒸劑使用時，土壤溫度宜在10°C 以上，水份適宜爲佳。使用此類藥劑最大的優點在於農作物無農藥殘毒之虞。整地的型式、施用的深度、土壤密閉程度、土壤濕度、溫度和土壤型態往往左右土壤燻蒸效果。燻蒸效果之優劣取決於燻蒸氣體在土壤空隙中移行的條件有利與否。實驗證明灌注燻蒸藥劑於50公分的土層中可有效防治線蟲並增加作物產量。施用燻蒸劑後，若能將土壤表面密封，效果將會更好；如用塑膠布覆蓋(plastic mulch)、

1. 國立中興大學植物病理系

壓土輪（press wheel）、壓土器（roller）、圓盤培土器（disk hiller），或者澆水亦可。常見的土壤燻蒸劑有溴化甲烷（Bromomethane）、好達勝（Dhostoxin）、氯化苦（Chloropicrin）、滴滴（D-D）、滴滴滅（Vorlex）、邁隆（Dazomet）等。

B.非燻蒸性殺線蟲劑（Nonfumigent nematicides）(15)：

此類藥劑較燻蒸性殺線蟲劑有較多的優點，主要是對作物毒性較低、施用較方便，無須特殊裝備，且用量較低。其殺滅線蟲之作用方式爲觸殺性（contact action）的有普伏松（Ethoprop）、滅線蟲（Nemamort）及斯美地（Vapam）等。作用方式爲秉具系統性（systemic action）者如加保扶（Carbofuran）、歐殺滅（Oxymyl）、丁基加保扶（Dibutylaminosulfenyl Carbofuran）、繁福松（Terracur-p）、福瑞松（Thimet）、得滅克（Temik）、芬滅松（Nemacur）、托福松（Counter）及二硫松（Disyston）等。系統性藥劑之使用，須按農林廳所推薦用藥量及施用後安全採收期，以免有殘毒副作用。大部份的非燻蒸性殺線蟲劑是水溶性的，依靠水膜移行滲透。一般以粒劑或液劑型態施用。通常施用法有灑佈、行間條施、股畦處理爲多。國外以地面滴注系統施用於葡萄園中，明顯的降低線蟲族羣、作物產量大增，且減少一般葡萄園用藥量達50％(9)。在精緻農業作爲下的園藝設施，走向農藥及肥料的有效經濟使用趨勢，則中央滴注灌溉系統的發展是必要的。

二、非化學管理法（Nonchemical management）：

由於吾人對線蟲種類、寄主植物、棲息環境及其生活史的認知，在田地使用時加以整合，達到降低病原線蟲族羣的目的措施，謂之非化學管理法，或栽作措施(8)（cultural practices）。

一般常被應用的栽作措施如：

A.栽作系統（cropping system）(10)：

常用的方法如輪作（crop rotation）。以該田地主要病原線蟲之非寄主作物爲輪替對象，使線蟲在無營養來源下死亡。但如根瘤線蟲寄主廣泛，則實施起來有所困難。

B.休閒耕地（fallowing）(10)：

不種作物使病原線蟲飢餓死亡之法。休耕期中若能翻耕數次，效果更佳。

C.淹水（flooding）(12)：

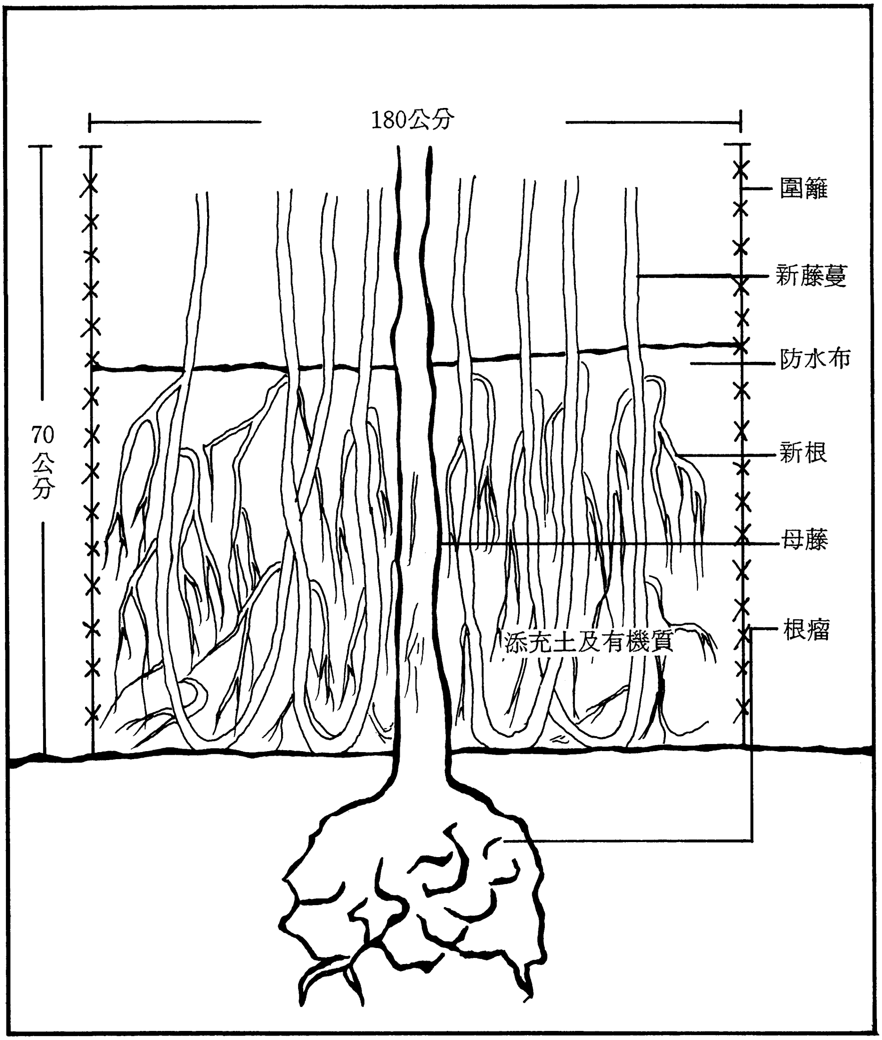
本省田地以水稻爲輪作對象時，有降低線蟲密度的效果，淹水是主要原因。

D.加熱 (heat)(7,8,11,14)：

幾乎所有植物寄生性線蟲在44°C 至48°C 之間會死亡；如以土壤加溫和溫湯浸種法處理，可有效降低線蟲密度。以本省而言，較有可能應用者爲太陽能加熱（solar heating）法。即以聚乙烯布覆蓋土壤表面來加熱土壤。聚乙烯布以透明者爲佳，土壤宜保持濕度、曝曬4至8週即可達效果。若能以二層透明塑膠布作覆蓋的話，則能有帳篷效果（tent effect），可於短期間內達較高之土壤溫度。

E.覆土（subsoiling）[15]：

培土或添加處女無病土的方法可用來作眞菌或線蟲病害之控制。就線蟲密度而言，覆土無助於使之下降，却可延長植株生育期或降低受害程度。在本省的作物上，以苦瓜及胡椒科作物在實行上效果最佳。（如圖一）



圖一、苦瓜培土設施解剖圖

F.砧木（rootstock）：

利用抗線蟲砧木防治線蟲，是很根本的方法。爲了防治本省葡萄根瘤線蟲病，已選出10種抗線蟲葡萄砧木，其中以 Harmony 及 SO4 兩者性狀甚佳，値得推廣使用。（如表一）。

表一、葡萄品系及砧木對南方根瘤線蟲的感受性

Table 1. Response of grape varieties and rootstocks to Meloidogyne incognita

Variety/ rootstock	Plant damage (gall index)*	Host efficiency (R factor)**	Degree of resistance designation
Perle de Casaba	4.0	3.25	Susceptible
Golden Muscat	4.0	4.81	Susceptible
Couderc 1202	4.0	3.84	Susceptible
Black Queen	4.0	3.45	Susceptible
Black Prince	4.0	1.97	Susceptible
Grey Riesling	4.0	1.56	Susceptible
Zinfandel	4.0	4.54	Susceptible
Italia IP65	4.0	1.78	Susceptible
Roer D'itohl	4.0	4.57	Susceptible
Dutchess	4.0	3.90	Susceptible
Traminer	4.0	3.35	Susceptible
Siebel 10878	4.0	4.04	Susceptible
Kyoho	4.0	4.32	Susceptible
Marêchal Foch	3.5	1.67	Susceptible
Schwarzer Riesling	4.0	2.01	Susceptible
Niagara	4.0	4.43	Susceptible
Pinot Noir	4.0	4.09	Susceptible
Takao	4.0	4.60	Susceptible
Foster	2.5	0.71	Hypersusceptible
Champion	3.0	0.45	Hypersusceptible
Kerner	3.6	0.80	Hypersusceptible
Salamander	4.0	0.70	Hypersusceptible
Campbell Early	4.0	0.69	Hypersusceptible
Barbera	3.4	0.81	Hypersusceptivle
Couderc 3306	1.2	1.27	Tolerant
Salvador	1.3	1.15	Tolerant
Aurore	1.2	1.30	Tolerant
Arthens	1.4	1.40	Tolerant

Variety/ rootstock	Plant damage (gall index)*	Host efficiency (R factor)**	Degree of resistance designation
Fredonia	1.4	1.20	Tolerant
Golden Cornith	1.9	1.68	Tolerant
Colobel	1.8	1.40	Tolerant
Rosette	1.5	1.10	Tolerant
420A	0.0	0.00	Resistant
Harmony	0.0	0.00	Resistant
SO4	0.0	0.00	Resistant
5BB Selection Kober	0.0	0.00	Resistant
Hybride Franc	1.2	0.30	Resistant
Missouri Riesling	1.4	0.78	Resistant
Rupestris St. George	1.4	0.64	Resistant
Muscat Bailey A	0.0	0.00	Resistant
5C Teleki	0.0	0.00	Resistant
8B Teleki	0.0	0.00	Resistant

* Gall index scale: 0=0 gall; 1=1−40 galls; 2=41−70 galls; 3=71−100 galls; 4=100+galls.

** The reproduction (R) factor as a measure of the reproductive capabilities of nematodes: R=Pf/Pi. The variable Pf represents the final population of nematode juveniles and/or eggs recovered from the soil and roots of infested plants; Pi the initial population of eggs and/or juveniles with which the plants were inoculated. (Ostenbrink, 1966).

G.有機質添加（organic amendment application）[10]：

近年來，不少線蟲學家以就地取材的方式，以農工產品廢料、工業廢棄物及動植物殘體等資材混合處理成有機添加物。雖則此些有機添加物種類繁多，經試驗結果證實對於防治線蟲有不同程度的效果。綜括其對線蟲產生的干擾作用有下列五點：

(1)有機質在土壤中分解後所產生的物質對線蟲有直接的致毒性。

(2)有機質在土壤中誘發多種線蟲的天敵。

(3)有機質施用後，其中有些對線蟲有忌避作用的物質附著在根部上，有保護根系免受線蟲侵害之功用。

(4)有機質在土壤中分解時產生毒性氣體，有毒殺線蟲之作用。

(5)有機質在土壤中分解時局部發熱，有助於阻絕或影響線蟲的活動路線。

由於以有機質添加物防治線蟲，不但無農藥殘毒之虞，且有助於樹勢之恢復，筆者等也以柑桔及葡萄爲對象，自行研製有機添加物（如表三），探討其對內寄生、外寄生及半內寄生性線蟲族羣消長情形。其結果如表二及圖二所示。

表二、有機添加物之施用對柑桔園植物寄生性線蟲密度之影響

Table 2. Effects of organic amendments treatment on the populations of plant-parasitic nematodes of orchard

Treatment	No. of nematode (in 100's)/100g of soil and 3g of fresh roots											
	Tylenchulus semipenetrans (adult female/larvae)				Pratylenchus spp. (in root/in soil)				Helicotylenchus spp. (in soil)			
	Months post-treatment											
	0	3	6	12	0	3	6	12	0	3	6	12
Nematicide	230/1205	12/41	18/53	96/225	46/198	2/11	10/30	9/17	13/0	0	0	4
Organic amendment	227/1100	240/2109	171/1960	120/540	54/179	171/380	174/313	61/149	15	20	18	19
Nematicide + organic amentment	264/1400	20/58	31/66	61/120	40/202	3/10	9/16	5/8	10	2	0	3
Control	256/1202	690/3410	420/2964	195/1060	48/184	246/420	160/300	50/125	12	44	29	17

表三、本試驗所施用有機添加物之成份

Table 3. Components of the organic amendments used in this test

Component		Percentage %
Seed pomace	菜子粕	10
Bone powder	骨粉	5
Pig dung	豬糞	10

Component		Percentage %
Mushroom wastes	菇類廢料	25
Rice bran	稻糠	25
Sawdust	鋸木屑	20
Shrimp, shell	蝦殼	3
Molasses	糖蜜	2

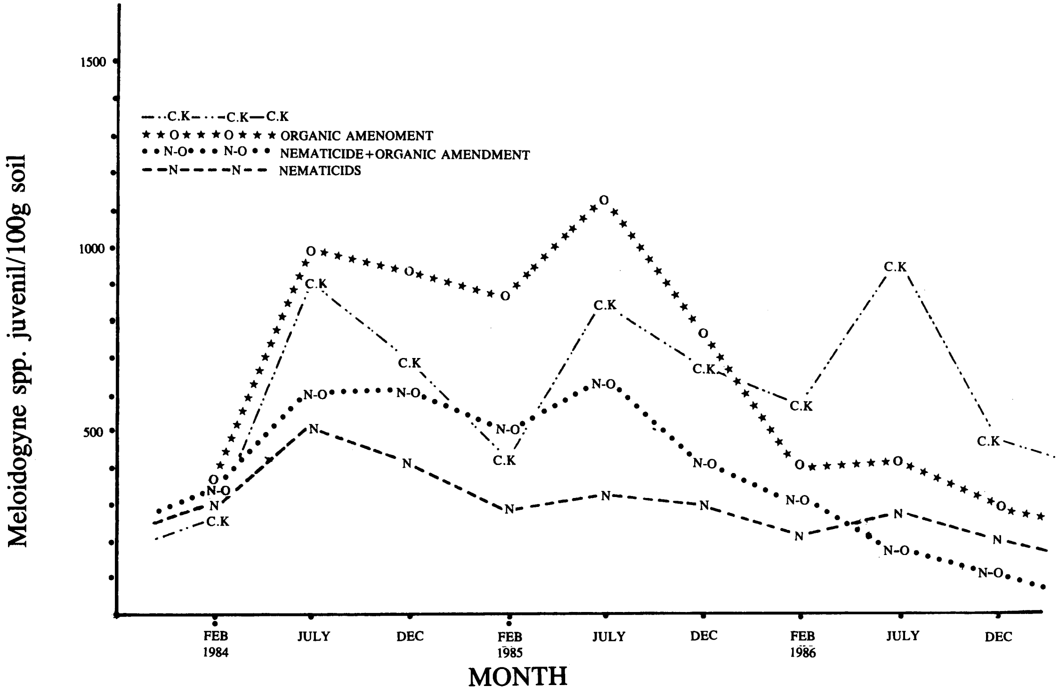


圖2. 殺線蟲劑及有機添加物對葡萄根瘤線蟲的影響

Fig 2. Influence of nematicide and organic amendments on root-knot nematode populations

H.田間衛生(Field sanitory)

根據調查，本省農地有60種左右的雜草是根瘤線蟲的寄主(如表四)[3]。經試驗結果得知雜草寄主的存在有助於根瘤線蟲的殘存及孳息(如圖三)[3]。

表四、本省根瘤線蟲之雜草寄主

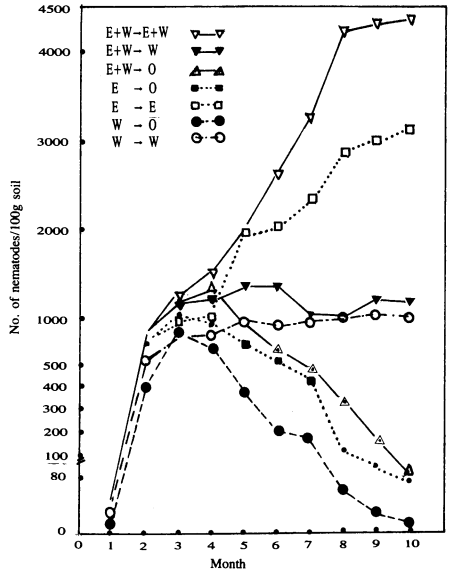
Table 4. *Meloidogyne* spp. and their weed hosts in Taiwan

Weeds	Weeds in Chinese	Root-knot index	Meloidogyne spp.
Solanaceas	茄科		
Solanum nigrum L.	龍葵	4.0	M. incognita
S. verbascifolium L.	山煙草	4.0	M. incognita
Physalis angulata L.	燈籠酸醬	4.0	M. japanica
Passifloraceae	西番蓮科		
Passiflora caerulea L.	時計草	4.0	M. incognita
Polygonaceae	蓼科		
Polygonum japonicum Meissn.	蠶繭草	4.0	M. incognita
P. lapathifolium L.	旱苗蓼	3.4	M. incognita
Rumex crispus L. var. japonicus Meisn.	羊蹄	1.2	M. incognita
Chenopodiaceae	藜科		
Chenopodium ficifolium Smith	小葉灰藋	1.6 4.0	M. incognita M. javanica
Amaranthaceae	莧科		
Alternanthera philoxeroides (Mart.) Griseb.	長梗滿天星	3.0	M. incognita
Alternanthera sessilis (L.) DC.	滿天星	3.2	M. incognita
Amaranthus lividus L.	烏莧	4.0	M. incognita M. javanica
A. spinosus L.	刺莧	4.0	M. incognita M. javanica
Portulacaceae	馬齒莧科		
Portulaca oleracea L.	馬齒莧	4.0	M. incognita
Caryophyllaceae	石竹科		
Drymaria cordata (L.) Willd.	菁芳草	4.0	M. incognita

Weeds	Weeds in Chinese	Root-knot index	Meloidogyne spp.
Stellaria aquatica (L.) Scop.	鵝兒腸	1.1	M. incognita
Crassulaceae	景天科		
Sedum formosanum N.E. Br.	台灣佛甲草	3.2	M. incognita
Cruciferae	十字花科		
Capsella bursa-pastoris (L.) Medic.	薺菜	1.0	M. incognita
Cardamine parviflora L.	小葉碎米薺	0.8	M. incognita
Lepidium virginicum L.	獨行菜	0.7	M. incognita
Rorippa indica (L.) Hiern	山芥菜	0.9	M. incognita
Leguminosae	豆科		
Minosa pudica L.	含羞草	1.2	M. incognita
	酢醬草科		
Oxalis corniculata L.	黃花酢醬草	4.0	M. incognita M. javanica M. avenaria
Oxalis martiana Zucc.	紫花酢醬草	4.0	M. incognita M. javanica
Euphorbiaceae	大戟科		
Euphorbia hirta L.	飛揚草	1.4	M. incognita
E. thymifolia L.	紅乳草	1.8	M. incognita
Oenotheraceae	柳葉菜科		
Ludwigia prostrata Roxb.	喇叭草	2.0	M. incognita
Scrophulariaceae	玄參科		
Lindernia cordifolia Merr.	心葉母草	4.0	M. incognita
L. crustacea (L.) F. Muell	藍豬耳	4.0	M. incognita M. javanica M. arenaria
Mazus japonicus (Thunb.) Kuntnz.	通泉草	4.0	M. incognita M. hapla
Plantaginaceae	車前科		

Weeds	Weeds in Chinese	Root-knot index	Meloidogyne spp.
Plantago major L. var. kimurae Yamamoto	車前草	4.0	M. incognita
Campanulaceae	桔梗科		
Lobelia radicans Thunb.	半邊蓮	2.2	M. incognita
Compositae	菊科		
Ageratum conyzoides L.	白花霍香薊	4.0	M. incognita M. javanica
A. houstonianum Miller	紫花霍香薊	2.0	M. incognita
Bidens bipinnata L.	鬼針草	1.6	M. incognita
B. pilosa L. var minor (B1.) Sherff.	咸豐草	1.2	M. incognita
Eclipta prostrata L.	鱧腸	4.0	M. incognita
Erechtites valerianaefolia (Walf.) DC.	昭和草	4.0	M. incognita
Ixeris chinensis Nakai	兔仔菜	2.1	M. incognita
Siegesbeckia orientalis L.	豨薟	2.1	M. incognita
Soliva anthemifolia R. Br.	假吐金菊	2.6	M. incognita
Tridax procumbens L.	長柄菊	2.3	M. incognita
Wedelia chinensis (Osbeck.) Merr.	黃花田蘿草	4.0	M. incognita M. javanica
Youngia japonica (L.) DC.	山菠薐	1.8	M. incognita
Alismataceae	澤瀉科		
Sagittaria pygmea Miq.	瓜皮草	1.9	M. incognita
Cyperaceae	莎草科		
Cyperus compressus L.	扁穗莎草	1.1	M. incognita
C. difformis L.	球花蒿草	1.2	M. incognita
C. haspan L.	畦畔莎草	2.0	M. incognita
C. iria L.	碎米莎草	1.7	M. incognita
C. rotundus L.	香附子	3.4	M. incognita
Fimbristylis miliaceae	木虱草	3.6	M. incognita

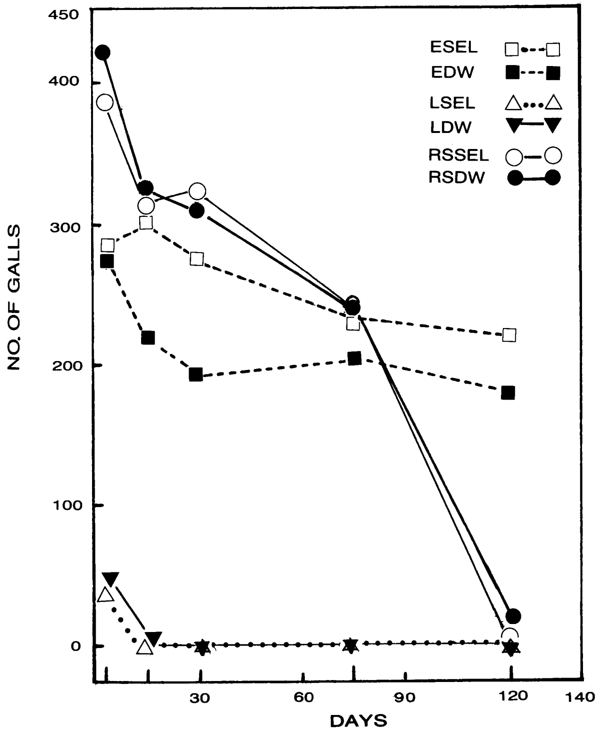
Weeds	Weeds in Chinese	Root-knot index	Meloidogyne spp.
(L.) Vahl.			
Pycreus globosus (All.) Reichb.	球穗扁莎	1.7	M. incognita
P. polystachyos P. Beauv.	多枝扁莎	1.2	M. incognita
Scirpus juncoides Roxb	螢藺	1.9	M. incognita
Gramineae			
Brachiaria subquadripara (Trin.) Hitch	四生臂形草	2.0	M. incognita
Digitaria adscendens Henr.	升馬唐	1.0	M. incognita
D. henryi Rendle.	亨利馬唐	1.0	M. incognita
Echinochloa crus-galli Beauv. var. formosensis Ohwi.	台灣野稗	1.9	M. incognita
Eleusine indica (L.) Gaertn.	牛筋草	1.4	M. incognita
Paspalum conjugatum Berg.	毛穎雀稗	2.2	M. jncognita
Setaria geniculata (Lamk.) P. Beauv.	莠狗尾草	1.9	M. incognita



圖三、根瘤線蟲在茄子及雜草上的族羣消長
Fig.3. *Meloidogyne* spp. Populations on egg-plants(E) associated with weed(W) hosts.

I.阻絕傳播途徑(Isolation)

線蟲的傳播除了直接經由植物繁殖體，如塊莖、鱗莖、球莖及切根等之幼苗外，耕耘器具、人獸的足跡，甚或灌溉水皆可攜帶線蟲，流移他處。根據研究，顯示葡萄根瘤線蟲之卵塊、幼蟲及斷根在水中四個月後，仍具有感染蕃茄的能力(如圖四)[6]。



圖四　葡萄根瘤線蟲、卵塊、幼蟲、及葡萄斷根於水中感染力之維持時間在蕃茄根系上之表現

Fig.4. Root-knot nematode gall counts on tomato plants from eggmass, larvae and root sections of grapevines treated for varying periods.

ESEL, eggmass in soil extract liquid; EDW, eggmass in distilled water; LSEI, larvae in soil extract liquid; LDW, larvae in distilled water; RSSEL, root section in soil extract liquid; RSDW, root section in distilled water.

本省近年來有不少農產品專業區設立，也引進不少新興作物，在精緻農業的作爲下，園藝生產事業將更發達，然而也造就了病蟲害發生的新環境。就植物病原線蟲中最顯而易見的根瘤線蟲而言，筆者等多年來調查了本省常見經濟作物及花卉等就有很多是嚴重罹病者，如�караж花(表五)[2]、香蕉(表六)[5]、葡萄(表七)[4]、瓜類、草花、馬鈴薯、薑等(表八)，甚有必要及時多方面適地防治。此外就本省目前發生頻繁的連作障礙問題而言，依日本人西尾道德的調查，連作障礙的個案中，有15.9%證實是由

線蟲引起(1)。因爲線蟲的寄主廣泛，加以本省水稻轉作，線蟲病害的發生更趨嚴重，有賴於諸同仁在防治上做更進一步的研究。

表五、名間、雙冬及永靖地區不同株齡的荖花園中根瘤線蟲之密度及罹病指數

Table 5. *Meloidogyne* population and disease index in *Piper longum* fields of different crop years at Ming Chien, Shuang Tung and Yung Ching

	Ming Chien			Shuang Tung			Yung Ching		
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
Juveniles pet 100g of soil	1243	2411	1047	1689	2550	1209	984	2610	1112
Females per 3g of roots	6.7	17.1	24.6	18.8	30.6	23.8	17.6	23.5	22.0
Root-knot index	1.9	2.7	3.4	2.6	3.5	3.1	2.9	3.7	3.6
Disease index	47.5	67.5	85.0	65.0	87.5	77.5	72.5	92.5	90.0

表六、草湖、集集與田中香蕉園中根瘤線蟲蟲口密度及罹病指數

Table 6. *Meloidogyne* population and disease index in banana fields at Tsao Hu, Chi Chi and Tien Chung.

	Tsau Hu	Chi Chi	Tien Chung
Juveniles per 100g of soil	3041	1923	1650
Females per 3g of roots	40	16	8
Root-knot index	3.6	2.2	1.8
Disease index	87	73	58

表七、苗栗、臺中、南投及彰化四縣市葡萄園中植物寄生性線蟲分佈顯著值

Table 7. Prominence values for plant-parasitic nematodes distributed in vineyards at Miao Li, Tai Chung, Nan Tou and Chang Hwa counties.

Genera of nematodes	Miao Li			Tai Chung			Nan Tou			Chang Hwa		
	RF*	RD**	PV**	RF	RD	PV	RF	RD	PV	RF	RD	PV
Aphelenchoides	0	0	0	3.47	2	80	3.07	3	78	2.12	4	65
Ditylenchus	0.51	1	12	0	0	0	1.53	1	28	3.90	3	452

(接上頁)

Genera of nematodes	Miao Li			Tai Chung			Nan Tou			Chang Hwa		
	RF*	RD**	PV**	RF	RD	PV	RF	RD	PV	RF	RD	PV
Helicotylenchus	2.52	5	44	12.15	9	501	9.22	6	403	9.57	8	627
Hemicriconemoides	20.82	13	1153	10.00	21	378	13.84	18	747	14.89	12	1233
Meloidogyne	25.70	49	2041	38.81	45	2860	40.00	56	3650	29.43	47	3412
Pratylenchus	15.16	9	914	7.14	7	225	9.22	5	4.03	12.76	7	862
Rotylenchus	17.22	3	1113	5.71	7	163	6.15	2	218	0	0	0
Trophurus	4.88	2	148	0	0	0	1.53	1	27	0.70	1	12
Tylenchohynchus	1.79	6	22	8.58	4	298	12.30	3	615	1.77	6	50
Tylenchulus	10.02	10	478	14.29	5	644	0	0	0	22.69	10	2307
Xiphinema	1.79	2	44	0	0	0	3.07	2	79	2.12	2	65

* RF: Relative frequency.
** RD: Relative density.
*** PV: Prominence value.

表八、根瘤線蟲在本省的蔬菜寄主

Table 8. *Meloidogyne* species found parasitizing various vegetable hosts in Taiwan

Host plant	Common name	Meloidogyne species
Papilionaceae		
Vicia faba L.	Broad bean	M. javanica
		M. incognita
Arachis hypogaea L.	Peanut	M. arenaria
Phaseolus vulgaris L.	French bean	M. incognita
Pisum sativum L.	Garden bean	M. incognita
Glycine max Merr.	Soybean	M. incognita
Phaseolus aureus Roxb	Mung bean	M. incognita
		M. javanica
Cucurbitaceae		
Cucumis sativus L.	Cucumber	M. javanica

Host plant	Common name	Meloidogyne species
		M. incognita
Cucumis melo L. var. conomon Makino	Oriental Pickling melon	M. incognita
Citrulllus vulgaris Schrad	Watermelon	M. javanica M. incognita
Cucurbita moschata Duchn	Pumpkin	M. incognita M. javanica
Cucumis melo L.	Muskmelon	M. incognita M. javanica
Lagenarial leucantha var. calavata Ser.	Calabash gourd	M. javanica M. incognita
Monordia charantia L.	Bitter gourd	M. incognita
Luffa cylindrica Roem	Luffa	M. incognita M. javanica
Cruciferae		
Raphanus sativus Linn	Radish	M. incognita
Brassica oleracea L. var. caulorapa DC.	Kohlrabi	M. incognita
Brassica oleracea L. var capitata L.	Cabbage	M. incognita M. javanica M. hapla
Solanaceae		
Lycoperiscum esculentum Mill	Tomato	M. incognita M. javanica M. arenaria
Capsicum annuum L.	Red pepper	M. incognita
Capsicum frutescens L. var. grossum Bailey	Sweet pepper	M. incognita
Lycium chinense Mill	Chinese matrimony vine	M. incognita
Convolvulaceae		

Host plant	Common name	Meloidogyne species
Ipomoea aquatica Forsk	Water convolvulus	M. incognita
		M. javanica
Ipomoea batatas Lam	Sweet potato	M. incognita
Zingiberaceae		
Zingiber officinalis Roscoe	Common ginger	M. incognita
Araceae		
Colocasia esculenta Schott	Taro	M. incognita
Amaryllidaceae		
Allium fistulosum L.	Onion	M. incognita
Dioscoreaceae		
Dioscorea batatas Decne	Chinese yam	M. incognita
Gramineae		
Zea mays L.	Maize	M. incognita
Cruciferae		
Brassica chinensis Linn	Pai-tsai	M. incognita
Brassica juncea Cosson	Mustard	M. incognita
Brassica alboglabra Bail	Chinese kale	M. incognita
Brassica oleracea L. var. botrytis L.	Cauliflower	M. incognita
Chenopodiaceae		
Spinacia oleracea L.	Spinach	M. javanica
		M. incognita
Amarantaceae		
Amarantus mangostanus L.	Edible amaranth	M. incognita
Umbelliferae		
Caucus carota L. var. sativa DC.	Carrot	M. incognita
Apium graveolens L.	Celery	M. incognita
		M. avenaria

Host plant	Common name	Meloidogyne species
		M. javanica
Coriandrum sativum L.	Coriander	M. javanica
Compositae		
Tragopogon porrifolius L.	Vegetable-oyster	M. incognita
Lactuca sativa L.	Lettuce	M. incognita
Chrysanthemum coronarium var. spatiosum Baileyy	Garland chrysanthemum	M. incognita
Solanaceae		
Solanum tuberosum L.	Potato	M. incognita
		M. hapla
Solanum melongena L.	Eggplant	M. incognita
Piperaceae		
Piper sandersii C. DC. var. argyreia Hook f.		M. incognita
Chenopodiaceae		
Celosia argentea L. var. cristata Kuntze		M.incognita
Portulacaceae		
Portulaca grandiflora Hook		M. incognita
Cruciferae		
Lobularia maritima Desv.		M. incognita
Malthiola incana R. Br.		M. incognita
Loasaceae		
Begonia grandis Dry.		M. incognita
Solanaceae		
Capsicum frutescens	Red cluster Pepper	M. incognita
Scrophulariaceae		
Antirrhinum majus L.	Large snap dragon	M. incognita
Araceae		

Host plant	Common name	Meloidogyne species
Dieffenbachia picta Schott.		M. incognita
Iridaceae		
Cladiolus gandavensis Van Houtte		M. incognita
Musaceae		
Musa cocinea Andr.		M. incognita
Fragaria chiloensis var. ananassa Duch	Strawberry	Meloidogyne hapla
		M. incognita
		M. javania
		Aphelenchoides besseyi
		A. fragariae
Oryza sativa L.	Rice	Aphelenchoides besseyi
Piper longum L.		M. incognita
Piper betle L.		M. incognita
Citrus spp.		Tylenchulus semipenetranss
Agave terminalis Kunth		Xiphinema spp.
Crossostephium chinese Makino		M. incognita

參考文獻

1. 西尾道德，1983，連作障害の發生にツいて。日本土壤肥料學雜誌54(1)：64～73。
2. 蔡東纂、林奕耀，1983，台灣中部荖花及荖葉根瘤線蟲病害之發生。植保會刊，25：281～284。
3. 蔡東纂、林奕耀，1984，台灣農地雜草根瘤線蟲之研究。雜草會刊，5.(2)：59～79。
4. 林奕耀、蔡東耀，1984，台灣地區葡萄園中植物寄生性線蟲相之調查。中國園藝，30(3)：173～179。

5. 林奕耀、蔡東纂，1985，台灣中部地區香蕉根瘤線蟲病之研究。中國園藝，31(1)：44～49。

6. 蔡東纂、林奕耀，1985，台灣葡萄根瘤線蟲之發生及其傳播。中國園藝，31(2)：94～104。

7. Christie, J.R. 1959，Plant nematodes, their bionomics and control. Jacksonville, FL: The H & WB Drew Company.

8. Jonkins, W.R. 1960. Control of Nematodes by physical methods. Pp.443-446 in J.N. Sasser and W.R. Jenkins, eds. Nematology. Chapell Hill: North Carolina Press.

9. Johnson, A.W., C.A. Jaworski, D.R. Summer, and R.B. Chalfant. 1979. Effects of film mulch, trickle irrigation, and soil pesticides on nematodes and yield of pole-bean. Plant Disease Reporter 63:360-364.

10. Johnson, A.W. 1985. Specific crop rotation effects combines with cultural practices and nematicides. Pp.283-301 in J.N. Sasser and C.C. Carter, eds. An advanced treatise on Meloidogyne, Vol. 1. Biology and Control. Raleigh: North Carolina state University Graphics.

11. Katan, J. 1981. Solar heating (solarization) of soil for control of soilborne pests. Annual Review of phytopathology 19:211-236.

12. Mai, W.F., E.J. Cairns, L.R. Kursberg, B.F. Lounsberry. C.W. McBeth, D. J. Ras-Ki, J.N. Sasser, and I.J. Thomason. 1969. Control of plant—parasitic nematodes. Washington, D.C.: National Academy of Science.

13. Peters, B.G. 1959. Principles of chemical control with special reference to soil fumigation. Pp.135-140 in J.F. Southey, ed. Plant Nematology Bulletin No.7, Ministry of Agriculture Fisheries and Food. London.

14. Stapeleton. J.J. and J.E. De Vay. 1983. Response of phytoparasitic and free—living nematodes to soil solarization and 1, 3—dichloropropene in California. Phytopathology 73:1429-1435.

15. Thorne, G. 1961. Principles of Nematology. New York: *McGraw*-Hill.

綜 合 討 論

由杜金池、高清文、范國洋及各主講人共同主持，討論中心議題。1.耕作制度與線蟲相之變遷。2.本省經濟作物的嚴重線蟲病害。3.線蟲病害綜合防治策略。4.今後研究重點。經諸位從事線蟲研究者、專家及長官熱烈討論後，得以下之綜合結論。

一、耕作制度與線蟲相之變遷

近幾年來，在政府提倡高品質精緻農業政策下，農業經營型態之改變及經濟作物之引進，使得台灣線蟲病害之發生更趨複雜。尤以水稻轉作雜糧作物爲甚；衆所周知，和水稻輪作可以降低線蟲族羣密度；而旱田之通氣、排水性佳，利於線蟲之繁殖，對轉作後之旱作，可能具有威脅性，如水稻轉作玉米後，發現除國外報告常披露的根瘤線蟲（*Melodogyne* spp.）、根腐線蟲（*Pratylenchus hexincisus*）引起的根系病害外，原本在水稻根部孳息的穿根線蟲（*Hirschmanniella oryzae*）竟也寄生在玉米根部，引起相當程度的根系發育障害；又許多水稻田翻耕後栽植草莓，嚴重發生赤芽病（縮芽病）（由葉芽線蟲 *Aphelenchoides spp.* 引起）、及根瘤線蟲病；另就寄主範圍廣泛的根瘤線蟲（*Meloidogyne spp.*）而言，很少作物不受其爲害，只是爲害程度不同，如果輪作的作物爲線蟲的寄主，則線蟲病害問題便日趨嚴重。短期蔬果作物的栽培，更經常由種苗攜帶線蟲，然後在種植期間迅速繁殖到高族羣密度。本省作物專業區的設立、農友間作的習慣、新興作物的引進，近年來都發現線蟲密度有明顯上升之趨勢，整個線蟲病害的病原趨向優勢化，病徵表現則較規則化。由上可知，台灣之耕作制度，影響線蟲相之變遷，將直接或間接的產生作物連作障碍問題，可能使某些前所未發生或發現的線蟲病害猖獗及加速蔓延。

申請七十八年度農委會補助計劃有：

1. 不同耕作制度寄生性線蟲相之研究。
2. 切花作物寄生性線蟲相之調查。

二、本省經濟作物的嚴重線蟲病害

目前本省各農作專業區栽培之果樹、草莓、蔬菜、瓜類、觀賞花卉及水稻田轉作作物玉米、高粱、大豆、花生等，因連作或不與水稻輪作之緣故，除發生其他土壤傳播之病害外，線蟲導致之病害，愈具威脅性。近年來，本省線蟲連作障害發生的主要經濟作物有：苦瓜、絲瓜、番茄、西瓜、洋香瓜、甜椒、草莓、短期作蔬菜、玉米、花卉（如

菊花、滿天星、康乃馨等），其中以根瘤線蟲及葉芽線蟲爲害較猖獗；另外松斑天牛媒介之松材線蟲（*Bursaphelenchus xylophilus*）對松樹之威脅日甚，值得注意。

有鑑於農業經營型態之改變後經濟作物線蟲病害之重要性，應申請78年度農委會補助計劃如：

1. 本省西瓜根瘤線蟲病害之發生及防治研究。
2. 松材線蟲萎凋病之調查及防治。
3. 土壤病原微生物與西瓜（洋香瓜）連作障害之關係探討。

三、線蟲病害綜合防治策略

線蟲病害之防治目前均以殺線蟲劑之施用爲主，許多先進國家之農業專家有鑑於殺線蟲之施用，造成大地及水質污染，農產品殘留毒性爲害人體的後遺症；以及長期施用殺線蟲，導致抗藥性問題，對作物線蟲病害並不能完全有效控制；積極尋求非化學防治之可行方法。近十年來，各國線蟲學家發現以農產品廢料、工業廢棄物及動植物殘體等資材混合處理，在科學方法處理後，合成之有機質添加物證實除了有肥效，增强植株生長勢外，更有助於土壤中線蟲天敵之繁殖、達到降低線蟲蟲口密度及爲害度。本省線蟲病害綜合防治策略宜朝此方向發展，且需尋找低毒性或對人體無殘毒之虞之藥劑，並且進行抗病育種工作、配合適當之耕作制度、土壤綜合管理設施。線蟲的防治應以預防爲主，預防之道以檢疫制度、土壤及種苗滅蟲爲要。

鑑於線蟲綜合防治之重要，應申請78年度農建計劃如：

1. 土壤有機質添加物在作物線蟲病害防治上之應用。
2. 利用藥用植物成份防治草莓葉芽線蟲之研究。
3. 抗南方根瘤線蟲（*Meloidoyne incognita*）作物的篩選。

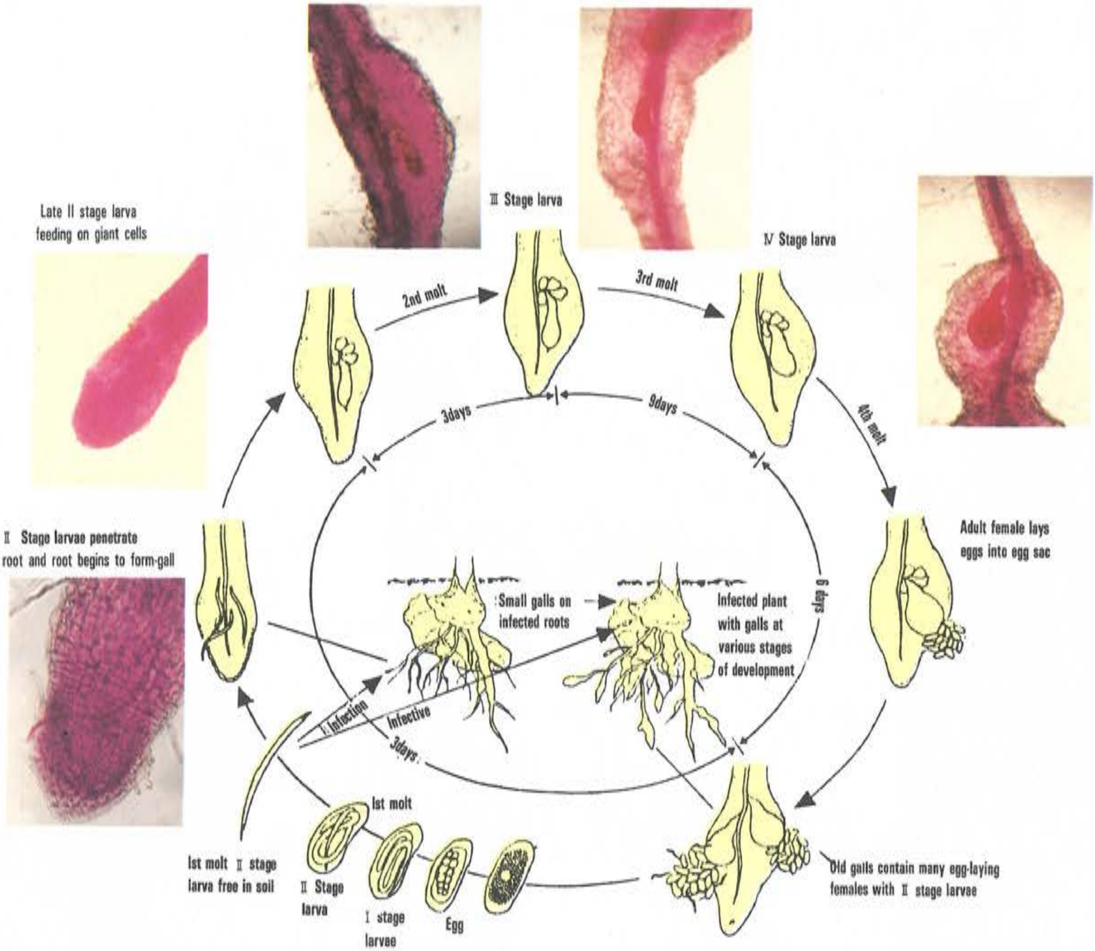
四、今後研究重點

針對以上綜合討論之結果，今後線蟲研究重點爲探討水稻田轉作雜糧作物之線蟲病害、線蟲種類之鑑定、分佈及病原性進行調查；繼續調查台灣地區作物根瘤線蟲種類及其爲害寄主；草莓葉芽線蟲、西瓜根瘤線蟲、葡萄根瘤線蟲、柑桔線蟲、花卉作物線蟲以及松材線蟲等之發生及有效防治法之研究，包括尋找低毒性殺線蟲劑以及非化學防治法之發展如抗病育種、栽培制度、土壤綜合管理以及有機質添加物之應用等。

海 報 展 示

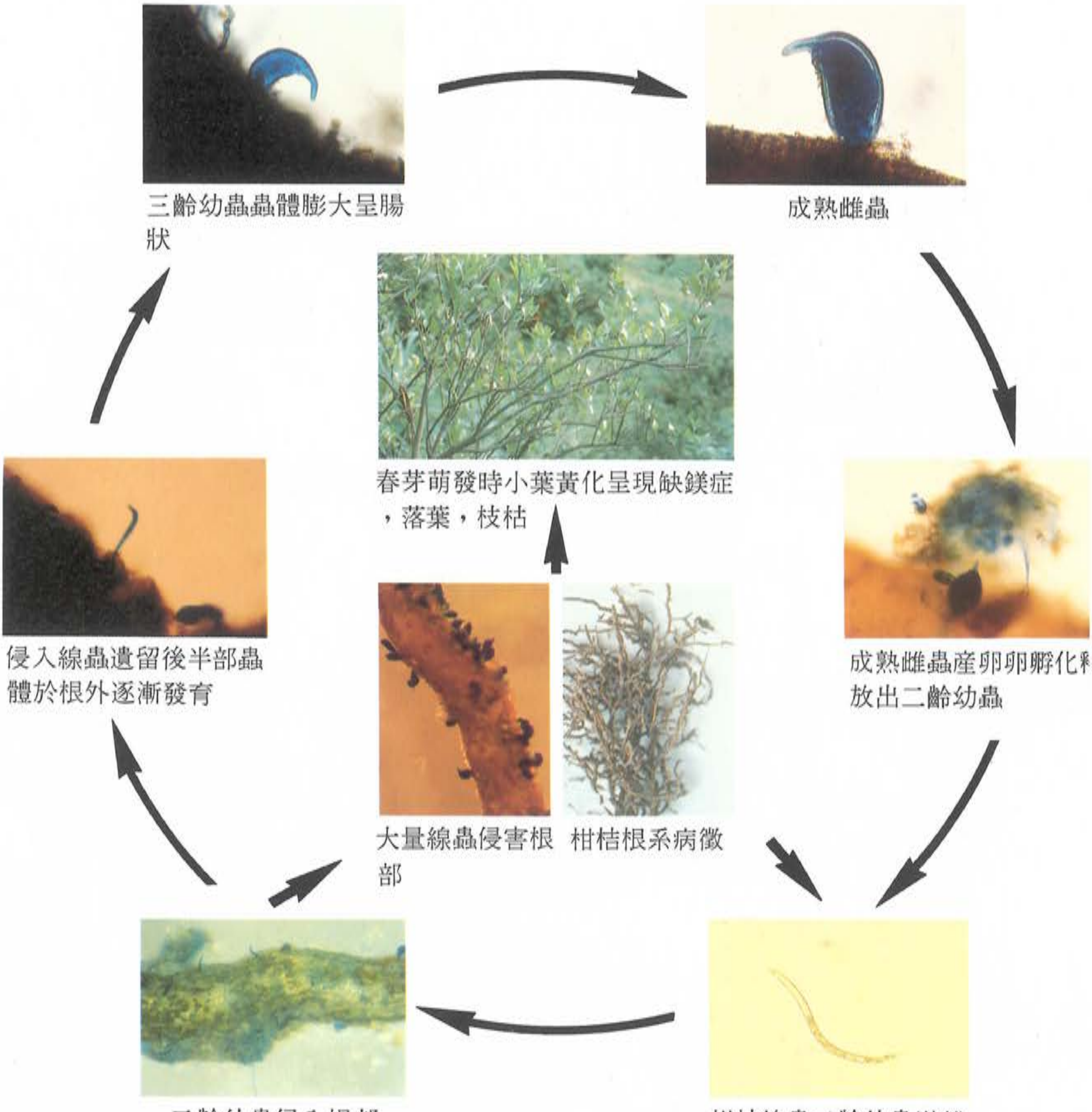
根瘤線蟲對生薑之致病過程

程永雄　杜金池
台灣省農業試驗所



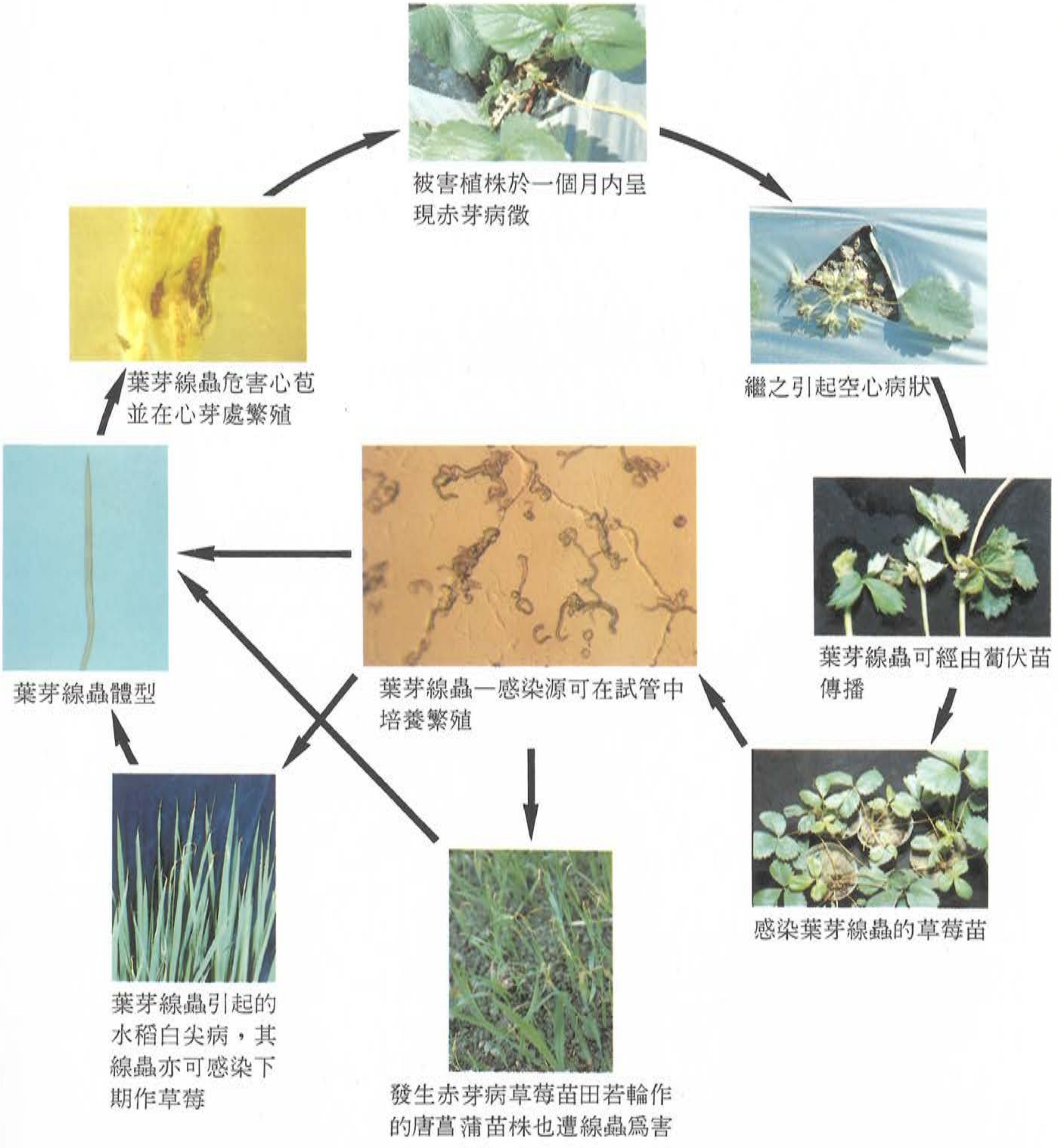
柑桔線蟲引起柑桔慢性衰弱病病害環

林奕耀　蔡東纂
國立中興大學植物病理系



草莓葉芽線蟲引起赤芽病病害環

林奕耀　蔡東纂及程永雄　王貴美
國立中興大學及台灣省農業試驗所



研討會出席人員名單

國　科　會：連　錦　昆
農　委　會：陳秋男、高清文
台灣大學：曾顯雄、王國强、顏志恒
中興大學：陳脈紀、林奕耀、蔡東纂、王貴美
屏東農專：鄭光哲、陳滄海
嘉義農專：蔡　竹　固
台中農校：鄭　柏　秋
霧峯農校：施　龍　憲
農　林　廳：蘇匡基、蕭榮福、謝惠騰、范國洋、田春門、陳昭豐、黃玉瓊
農　藥　所：張淳文、李昱輝
農　試　所：杜金池、程永雄、林益昇、蔡財旺、蕭吉雄、簡錦忠、黃秋雄、張清安、張義璋、謝麗娟、陳建名、蔡淑珍、蔡阿輝、蔡金川
嘉義分所：蔡武雄、安寶貞、王麗媛
鳳山分所：林正忠、林昭雄、陳敏祥
菸草試驗所：蔣汝國、蘇淑眞
林業試驗所：王維洋、張玉珍
糖業研究所：王次男、位國慶
林　務　局：伊　肇　基
亞洲農業技術服務社：羅　宗　爵
桃園區農業改良場：許永華、彭添興
台中區農業改良場：楊涌祚、楊瓊儒、劉添丁、黃秀華
台南區農業改良場：鄭安秀、陳紹崇
高雄區農業改良場：陳珠惜、吳金助、曾慶德、邱正義
花蓮區農業改良場：徐保雄、林慶元
台東區農業改良場：黃德昌、謝進來、李惠鈴
茶葉改良場：王兩全、曾信光
種苗繁殖場：蕭芳蘭、呂和聲

中華民國七十七年四月十二日

籌 辦 人 員

籌備委員：杜金池　蕭榮福　田春門　林奕耀
　　　　　王國强　曾顯雄　程永雄　林益昇

總 連 絡：林益昇

總　　務：葉忠川　吳宗評

會場佈置：張清安　鄧汀欽

團 體 照：楊一郎　宋細福

報　　到：簡錦忠

幻 燈 機：羅朝村　段中漢

音響冷氣：柯寬裕

會場服務：謝麗娟　蔡淑珍　吳寬澤

記　　錄：黃秋雄　蔡阿輝　蔡淑珍

資料編輯：蔡武雄　蔡淑珍　王貴美